مقدمة في علم الفلك

الدكتـــور
بركات عطوان البطاينة

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة في
علم الفلك

رقـــــم التصنيـــــف : 520.1
المؤلف ومن هو في حكمه: بركات عطوان البطاينة
عنـــــوان الكتـــــاب: مقدمة في علم الفلك
رقـــــم الايـــــداع : 2003/5/953
الـــواصفــــــــــات: /الفلك الوصفي/
بيـــانـــــات النـــشر : عمان - دار المسيرة للنشر والتوزيع
* - تم اعداد بيانات الفهرسة والتصنيف الأولية من قبل دائرة المكتبة الوطنية

الطبعة الأولى 2003 م - 1424 هـ
الطبعة الثانية 2009 م - 1430 هـ

عمـــان-العــبــدلي-مـقـــابل البنك العـربي
هـــاتـــف:5627049 فـــاكــس:5627059
عمان-ساحة الجامع الحسيني-سوق البتراء
هـــاتـــف:4640950 فـــاكــس:4617640
ص.ب 7218 - عـــمـــان 11118 الأردن
www.massira.jo

مقدمة في علم الفلك

الدكتـــور
بركات عطوان البطاينة
قسم الفيزياء - كلية العلوم
جامعة اليرموك

قال الله تبارك وتعالى

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿والسَّـمـاء بَنَيْنَاها بِأيْدٍ وإنَّا لَمُوسِعُون >
وَالأرضَ فَرَشْناهَا فَنِعْمَ الماهِدُون﴾

صدق الله العظيم

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة الكتاب

الحمد لله والصلاة والسلام على سيدي رسول الله وعلى آله وصحبه أجمعين، فإن تعرّف الانسان على هذا الكون لهو ضرورة من ضروريات وجوده، يرى فيه عظمة خالقه، وقدرته في إبداع خلقه، ويرى فيه ضآلة وجوده أمام هذا الكون المتناهي في اتساعه، الدائب في حركته، ويرى في استقراء قوانينه ما يمكنه من إعمار الأرض، وتسخير الطبيعة في سبيل سعادته . ولهذا دأبت البشرية على التطلع إلى السماء ومراقبة نجومها وكواكبها ومجراتها، وما زالت التلسكوبات والمجسات الفضائية تزودنا كل يوم بكم هائل من المعلومات الفلكية عن المجرات والكواكب والسدم .

هذا وإنه ليسعدني أن أقدم هذا الكتاب «مقدمة في علم الفلك» للطلبة الأعزاء في كليات العلوم بالجامعات الأردنية والعربية، وإلى طلبة المعاهد العلمية في الوطن العربي . والذي كان في الأصل سلسلة من المحاضرات قدمتها لطلبة قسم الفيزياء بجامعة اليرموك أثناء تدريسي لمساقي علم الفلك (ف 202) و(ف 203) خلال الأعوام الدراسية من 1985 إلى 2003م . حيث لا يعتمد المساق على أي متطلبات أكاديمية سابقة .

ولقد اشتمل هذا الكتاب على ثلاثة عشر فصلاً، تكلمت في الفصل الأول منه عن السماء الليلية، بما تحويه من أجرام سماوية متعددة، وتعريف بحركتها الظاهرية، وبمنطقة البروج، ومنازل القمر، ووصف لظاهرتي الخسوف والكسوف .

أما الفصل الثاني فقد تكلمت فيه عن تطور علم الفلك عبر التاريخ، وأشرت إلى دور العرب والمسلمين القدماء في هذا المجال وإنجازاتهم الفلكية التي قدموها حتى عصر النهضة الأوروبية الحديثة .

أما الفصل الثالث فقد جعلته للحديث عن الطرائق العلمية المستخدمة في الدراسات الفلكية الحديثة. وهي التصوير الفوتوغرافي والدراسات الطيفية لضوء النجوم مع القوانين الفيزيائية التي تفسر منحنيات الإشعاع الصادرة عن الأجسام الساخنة . والتلسكوبات بأنواعها البصرية والراديوية وغيرها .

أما الفصل الرابع فتكلمت فيه عن كواكب المجموعة الشمسية، من حيث الخصائص الطبيعية لكل كوكب وغلافه الجوي، وتركيبه الجيولوجي، وحركته حول الشمس . ثم تحدثت عن قاعدة بود التي تصف مواقع الكواكب والكويكبات والمذنبات بشكل عام، وارتباط الشهب والنيازك التي تسقط على الأرض بالكويكبات والمذنبات .

وتحدثت أخيراً عن الشمس من حيث خصائصها الطبيعية وبعض الظواهر التي تحدث على سطحها مثل البقع الشمسية والشواظ الشمسي وغيرها ..... .

أما الفصل الخامس فقد تناولت فيه موضوع الارصاد النجمية الأساسية التي يقوم بها الفلكيون وتشمل قياس مواقع وأبعاد وحركة وسطوع النجوم، ونظام الأقدار النجمية ثم قياس أطيافها المختلفة.

أما الفصل السادس فقد تناولت فيه الخواص الطبيعية للنجوم.

وقد أشتمل الفصل السابع على موضوع النجوم الثنائية والمتغيرة.

واحتوى الفصل الثامن على العناقيد النجمية والسدم الغازية.

وفي الفصل التاسع تم التركيز على البناء النجمي.

وأما الفصل العاشر فيعرض عملية تطور النجوم.

ويتحدث الفصل الحادي عشر عن مجرة درب التبانة.

أما الفصل الثاني عشر فيعرض بالتفصيل انواع واشكال المجرات الاخرى.

وأوجزت في الفصل الثالث عشر علم الكوزمولوجي(أصل الكون).

ولقد تضمن الكتاب بعد كل فصل عدداً من الأسئلة المقالية، التي تساعد على فهم المادة الأساسية . كما تضمن عددا من الاختبارات الموضوعية الشاملة لمادة الكتاب بالإضافة لمجموعة من المراجع العربية والأجنبية التي أستخدمت في تأليف هذا الكتاب .

وختاماً يطيب لي أن أشكر جامعة اليرموك على مساهمتها في دعم طباعة هذا الكتاب، كما أشكر الزميل الدكتور عبد الله خطايبة الذي كان لتشجيعه لي الأثر الأكبر في إنجاز هذا العمل، كما وأشكر زوجتي وأفراد أسرتي لما تحملوه معي من صبر وعناء أثناء تأليف مادة هذا الكتاب.

نرجو الله أن يجعل عملنا هذا خالصاً لجلال وجهه الكريم، وأن يجعله في ميزان أعمالنا يوم القيامة، يوم لا ينفع مال ولا بنون إلا من أتى الله بقلب سليم .

المؤلف

الدكتور بركات عطوان البطاينة

كلية العلوم – قسم الفيزياء – جامعة اليرموك .

اربد – الأردن

في 18 ذو القعدة 1423هـ

فعرضت فيه الموافق 20 كانون الثاني 2003 م

محتويات الكتاب

الفصل الأول

الفصل الثاني

الفصل الرابع

الفصل الخامس

الفصل العاشر

الفصل الحادي عشر

الفصل الثاني عشر

الفصل الثالث عشر

الفصل الأول

السماء الليلية

1:1 شكل الكون كما تراه أعيننا

يُخَيَّل للناظر إلى السماء (وهي الجزء المرئي من الكون)، أنها تشبه كرة وهمية عظيمة مجوفة، يظهر نصفها العلوي كصحن مقلوب مطبق على الأرض، وقد زُيِّنت بالنجوم اللامعة المتفاوتة في لمعانها، وألوانها وتجمعاتها، وأعدادها الهائلة، والتي فاقت الملايين، حيث ترتبط هذه النجوم بالسطح الداخلي لهذه الكرة الوهمية، وكأنها على نفس البُعد منا، وهي في الحقيقة على مسافات متباينة . أما النصف الآخر للكرة الوهمية الغير مرئي، فيقع تحت أفق الراصد (المشاهد)، ويكون المشاهد على الأرض هو مركز الكرة الوهمية السماوية، ويصعب تقدير نصف قطر هذه الكرة السماوية، إذ يصل إلى بلايين الكيلومترات، ويعرف العلماء الكون بأنه الفراغ (الفضاء) المحيط بالكرة الأرضية التي نعيش عليها، وما يحتويه من أجرام سماوية (كالنجوم والكواكب، و المجرات والكويكبات، والمذنبات والشهب والنيازك وغيرها) . ويُدعى العلم الذي يبحث ويهتم بدراسة الأجرام السماوية المذكورة سابقاً من حيث مواقعها وحركاتها وتاريخ نشأتها ومصيرها وتطورها علم الفلك. حيث ظهرت كلمة علم الفلك عند قدماء اليونان.

والآن ما هي الأجرام السماوية التي يمكن مشاهدتها في السماء الليلية :

1- النجوم (Stars)

وهي تلك النقاط المضيئة المتوهجة والتي ينتشر نورها في كل الاتجاهات، وهي ذات ألوان متعددة، وسرعات مختلفة، ولكنها لبعدها الشاسع عنّا، تبدو وكأنها ثابتة في أماكنها .

2- المجاميع النجمية (Constellations)

وهي مجموعات نجمية تتكون من عدد محدود من النجوم، ذات شكل مميز، ثابت مع مرور الزمن . بعضها يكون على شكل حيوان أو إنسان، أو طير، دعاها الأقدمون بأسماء مألوفة لديهم، وتنتشر على صفحة السماء في مناطق مختلفة . وسنأتي على ذكرها في حينه، إن شاء الله .

3- الكواكب (Planets)

وهي أجسام مضيئة واضحة المعالم ذات لمعان ثابت، حيث تعكس ضوء الشمس عن

سطوحها بهدوء، وهذه الأجسام المضيئة تتحرك من مواضعها إذا ما رصدت من ليلة لأخرى بالنسبة للنجوم الثابتة . ويمكن رؤية عدداً لا يزيد على خمسةٍ منها في أية ليلة عادية وبالعين المجردة، موزعة على قوس كبير يمتد من الشرق إلى الغرب . وليس لها إشعاع ذاتي للضوء، كالنجوم، وتشمل عطارد والزهرة والأرض والمريخ والمشتري وزحل وأورانوس ونبتون وبلوتو .

4- القمر (Moon)

وهو من أوضح الأجرام السماوية التي يمكن مشاهدتها بسهولة، ويكون لامعاً جداً عندما يكون في طور البدر، وقد يظهر القمر بأشكال متعددة كالهلال أو التربيع الأول، وغيره سيأتي تفصيل ذلك قريباً إن شاء الله .

5- السدم والمجرات (Galaxies)

تتكون السدم من سُحب غازية هيدروجينية تتوزع بين النجوم، وتغطي مساحات شاسعة، ولها شكل معين منتظم أو غير منتظم، وحجم واضح . وهناك المجرات المكونة من عدد هائل من النجوم التي تقع على أبعاد شاسعة من الأرض . وهي الوحدات البنائية للكون، وتظهر بعضها على شكل شريط من الضوء الخافت، مثل درب التبانة التي ننتمي إليها .

6- الكويكبات (Asteroids)

وهي أجرام سماوية تبدو مضيئة كالكواكب، ولكنها صغيرة الحجم، وليس لها إشعاع ذاتي للضوء، بل تعكس ضوء الشمس عن سطوحها .

7- الشهب (Meteors)

وهي تظهر في السماء الليلية على شكل ومضات من الضوء السريع الخاطف لمدة ثوان، وتدعى بالنجوم الهاوية أحياناً، وهي في الواقع كتل صغيرة من المادة الصلبة، تسبح في الفضاء، وعندما تسقط على الأرض، فإنها تحترق في الغلاف الجوي الأرضي كلياً . ويمكن مشاهدة أكثر من عشرة شهب في الليلة الواحدة .

8- النيازك (Meteorites)

وهي كتل صلبة تسقط على الأرض ولا تحترق كلياً في الغلاف الجوي الأرضي، وهي ذات تراكيب كيماوية مختلفة .

9- المذنبات (Comets)

وهي أجرام سماوية مكونة من الثلج والنشادر والميثان في الحالة الصلبة، وبعض المواد

المعدنية، وعند اقترابها من الشمس، تتبخر بعض محتوياتها ويُكَوِّنُ هذا البخار ذيلاً من الغاز المضيء نتيجة لانعكاس أشعة الشمس، حيث يمتد ذيله الغازي المضيء الاف الكيلومترات . وكانت الناس ترهب رؤيتها في قديم الزمان، وقد تُرى لأيام أو أسابيع قليلة .

2:1 الكرة السماوية الفلكية وحركة الأجرام السماوية عليها

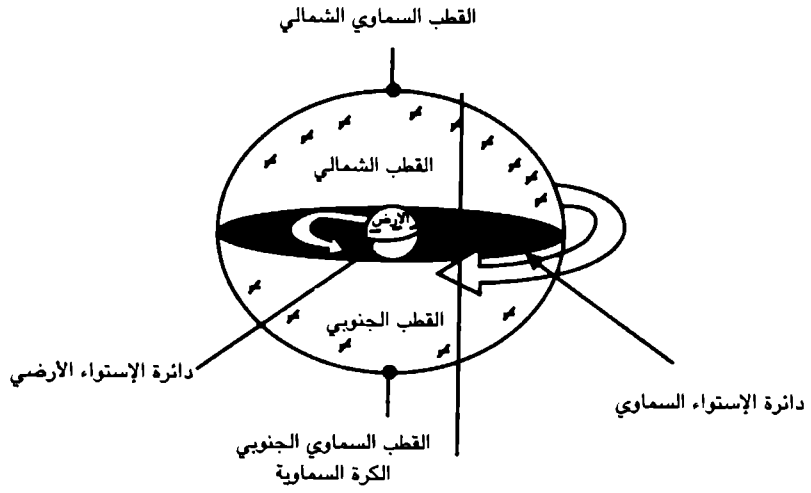
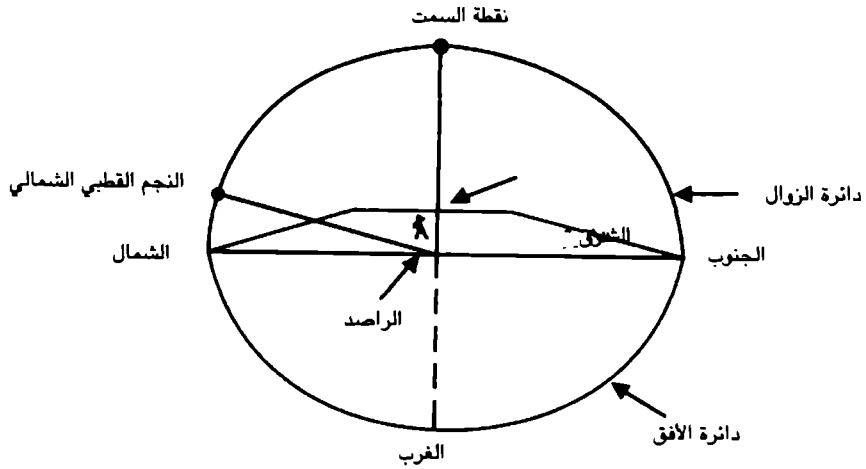
وهي كما ذكرنا سابقاً، عبارة عن كرة وهمية مركزها الأرض وتنتشر النجوم على سطحها الداخلي . وفي أثناء دوران الأرض حول الشمس، تحملنا معها حول الجزء الداخلي من المسرح الكروي للسماء . حيث تدور من الغرب إلى الشرق في مدار إهليجي خاص بها لا يتغير، وتكمل دورة واحدة حول الشمس على مدار السنة . وللأرض حركة محورية دورانية، حيث تدور حول محورها الوهمي من الغرب إلى الشرق وبعكس عقارب الساعة مرة كل (24) ساعة تقريباً، ويدعى طرفا المحور بالقطبين، الشمالي والجنوبي .

وعند دوران الأرض في مدارها حول الشمس، فإنها لا تغير من محورها المائل (الذي يميل عن الاتجاه العمودي على مسار الأرض بزاوية 23.5°) بل إنه يبقى موازياً دائماً لنفسه في مختلف المواقع على طول المدار ونتيجة لذلك يميل مدار الأرض على مستوى دائرة الإستواء الأرضي بزاوية 23.5° أيضاً.

وإذا مددنا محور دوران الأرض على استقامته من الجهتين الشمالية والجنوبية، فإنه يتقاطع مع الكرة السماوية في نقطتين هما القطب الفلكي الشمالي والقطب الفلكي الجنوبي .

وإذا مددنا دائرة الإستواء الأرضي التي تقسم الكرة الأرضية إلى قسمين متساويين شمالي وجنوبي، حتى يتقاطع مع الكرة السماوية تكون لدينا دائرة الإستواء السماوية التي تقسم الكرة السماوية الفلكية إلى قسمين، نصف الكرة السماوية الشمالية ، ونصف الكرة السماوية الجنوبية، وتكون عمودية على محور الكون، وتبعد دائرة الإستواء السماوية عن كل من القطبين السماويين بمقدار 90° .

وتدل الأرصاد الفلكية بأن محور دوران الأرض يتغير إتجاهه في الفضاء بشكل بطيء جداً، حيث يدور على سطح مخروطي في الفضاء حول العمودي على مستوى مدار الأرض (بزمن دوري 26000 سنة)، وينتج هذا الترنح بسبب قوة جذب الشمس والقمر للأرض واللذان يعملان على أن تدور الأرض حول نفسها بشكل قائم (Upright) .

والنتيجة هو تغير النجم القطبي الشمالي من بولاريس إلى النجم فيغا (Vega) خلال فترة 13000 سنة من الآن.

شكل (1) الارض في مركز الكرة السماوية . النجوم ثابتة والارض تدور حول محورها فتظهر السماء كانها تدور بالإتجاه المعاكس

شكل (2) دائرة الأفق لمشاهد يعيش في النصف الشمالي للأرض موضحاً عليها دائرة الزوال، ونقطة السمت، والنجم القطبي

3:1 الحركة الظاهرية للأجرام السماوية

يلاحظ المشاهد أن الأجرام السماوية جميعها تبدو لنا وكأنها تتحرك حركة بطيئة؛ (تدور) من الشرق إلى الغرب، وهذا ما يفسره شروق (Rise) الأجرام (كالشمس والنجوم والقمر) من جهة الشرق يومياً وغروبها (Set) في جهة الغرب، وهي حركة ظاهرية غير حقيقية تنتج بسبب حركة الأرض المحورية من الغرب للشرق، ويعكس حركة عقارب الساعة دورة كاملة °360 كل 24 ساعة تقريباً أي بمعدل °15 لكل ساعة، وبمعدل °1 لكل 4 دقائق . ولهذا السبب تظهر النجوم من جهة الشرق مبكرة كل ليلة بمقدار 4 دقائق . وتكون الأرض قد غيّرت مكانها بمعدل °1 على مدارها . وبالطبع نحن لا نشعر بهذه الحركة المستمرة لكوكبنا حول الشمس، ويبدو لنا أن الكرة السماوية كلها تدور حول مكاننا مرة كل يوم . والذي يجعلنا نحس بتقدم الأرض في رحلتها حول الشمس هو أنه في لحظة معينة من الليل تكون مواكب النجوم في موضع يقع إلى الغرب قليلاً من موضعها في نفس اللحظة من الليلة السابقة . وعلى مدى عام كامل تكتمل الدائرة الكاملة للكرة السماوية، وكذلك فإن المجاميع النجمية في السماء تتغير من فصل إلى فصل، حتى نرى التشكيلة النجمية التي ابتدئنا بها منذ بداية العام .

4:1 الإحداثيات السماوية (Celestial Coordiantes)

قبل البدء بالحديث عن الأنظمة المختلفة للإحداثيات السماوية المستخدمة لتحديد مواقع النجوم، يجب أولاً التعرف إلى بعض المصطلحات الأساسية، وهي :

1- نقطة السمت (Zenith) .

هي نقطة تقع على الكرة (القبة السماوية) مباشرة فوق محطة الراصد .(أي على امتداد الخط الشاقولي المار بمركز الأرض) .

2- نقطة النظير (Nadir)

وهي نقطة تقع إلى الأسفل من القبة السماوية (تحت محطة الراصد) ، والخط الواصل بين النظير والسمت يمر بمركز الأرض .

3- خط زوال الراصد (The observer's Meridian)

تلك الدائرة التي تمر بالقطبين بصورة عمودية على الإستواء السماوي، وتمر خلال سمت الرأس ونظيره، ولذلك فهي تُعد دائرة عمودية، وقطباها نقطتي المشرق والمغرب .

4- دائرة الأفق (Horizon Circle)

هي دائرة عظمى تحوي مستوى يمر بنقطة الراصد مماساً لسطح الأرض(أو عمودياً على خط السمت والنظير) ، أي تفصل ما بين الجزء المرئي من السماء والخفي منه، ويمكن تقسيمها إلى أربعة أقسام، فنقول الأفق الشمالي والجنوبي، والشرقي والغربي . والجدير بالذكر أن كروية الأرض التي تمتد أمام النظر تحدد المساحة التي نستطيع رؤيتها من الكون، والذي يكون على شكل قوس نسميه الأفق .

5- خط العرض (The Latitude)

وهي المسافة الزاوية لأي مكان على الأرض، شمال أو جنوب خط الإستواء، مقاسة بخط الزوال لذلك المكان . ويعطى العلاقة (+) إذا كان المكان شمال خط الإستواء ، أو (-) إذا كان المكان جنوب خط الإستواء . (أو الزاوية التي يصنعها مركز الأرض بين السمت وخط الإستواء السماوي) .

6- خط الطول (The Longitude)

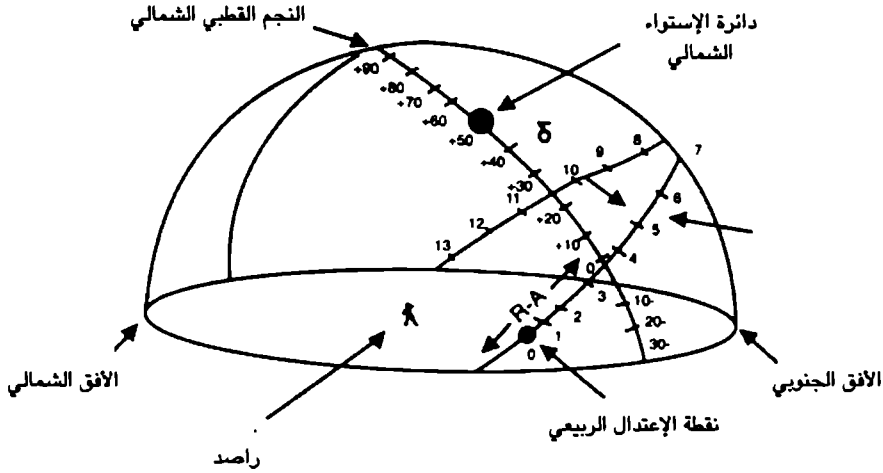
هو الزاوية المحصورة بين خط الزوال المرجعي (الذي يمر بمدينة غرينج) ، وخط زوال ذلك المكان، وتتراوح ما بين صفر إلى 180∞ شرق أو غرب غرينج .

أما الأنظمة المستخدمة لتحديد مواقع الأجرام السماوية فهي :

أ- النظام الإستوائي السماوي Celestial Equatorial System

ويعتمد على إحداثيان متلازمان هما :

1) ميل الجرم السماوي عن خط الاستواء Declination Angle

وتعرف بأنها المسافة الزاوية للجرم عن مستوى خط الإستواء، مقاسة على طول خط زوال الجُرم، ويتراوح الميل ما بين صفر و 90^0 ، ويعطى الإشاوة الموجبة (+) أو السالبة (-) حسب وضع الجرم شمال أو جنوب خط الإستواء السماوي على التوالي . ويُعد خط الإستواء السماوي هو الخط الصفري $d= 0^0$ (ولذلك فهي تشبه خطوط العرض على الأرض، مسقطة على الكرة السماوية) ، فالنجم القطبي له زاوية ميل $d=+90^0$ ويقاس بالدرجات وأجزائها .

شكل (3) يوضح خطوط الصعود المستقيم (R- A) وزاوية الميل الإستوائي (δ) لنجم ما

2) زاوية صعود النجم The Right Ascension

ويرمز لها بالحرفين R. A، وتعرف بأنها المسافة الزاوية الإستوائية المقاسة باتجاه الشرق من أول نقطة من نقاط برج الحمل (نقطة الإعتدال الربيعي هي نقطة الصفر)، وإلى دائرة الزوال لذلك الجرم السماوي . وتقاس بالساعات والدقائق والثواني، حيث تقسم السماء على خط الإستواء إلى 24 ساعة بعدد ساعات اليوم الأرضي، حيث كل 15° تعادل ساعة كاملة.

ب) النظام السماوي الأفقي للراصد The Horizone System

لتحديد موقع نجم ما، يلزم تحديد نقاط مرجعية في السماء وتشمل دائرة الأفق للمشاهد، ونقطة السمت، واتجاه الشمال الجغرافي، حيث يلزم إحداثيين هما :

1) زاوية الإرتفاع العمودي للنجم عن الأفق (The Altitude of a Star)

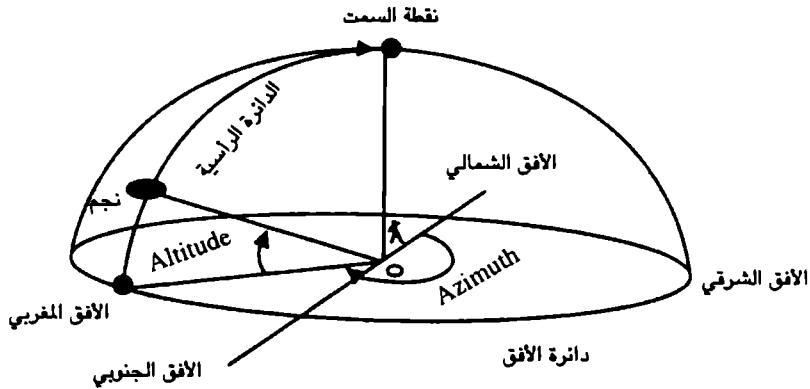
ويرمز له بـ (Alt) وتعرف على أنها الزاوية المقاسة من مكان المشاهد بين موقع النجم ودائرة أفق المشاهد على الدائرة الراسية المارة بكل من نقطة سمت المشاهد، وموقع النجم، والممتدة حتى تتقاطع مع دائرة الأفق، ويقاس بالدرجات حيث يكون ارتفاع النجم صفراً وهو في الأفق ، و 90° عند نقطة فوق رأس المشاهد . ولذلك فإن هذا الإرتفاع يتغير كل ساعة

حيث يكبر في النصف الشرقي من الكرة السماوية (شرق خط الزوال)، ويصغر بعد عبور هذا الخط إلى الغرب، ثم يصبح صفراً عند الغروب . وكبديل قد يستخدم إحداثي آخر يدعى تمام الإرتفاع أو مسافة السمت Zenith Distance (Z) وهو البعد الزاوي لجرم سماوي مقاساً من السمت ويعطى بالعلاقة :

$$Z = 90^{\circ} - Alt$$

2) اتجاه الجرم السماوي The Azimuth (AZ)

وهو تلك الزاوية المحصورة بين خط الزوال الذي يمر عبر موقع الراصد والدائرة الرأسية المارة عبر الجرم السماوي. أو هي المسافة الزاوية المقاسة في مستوى دائرة الأفق ابتداء من نقطة الشمال الجغرافي إلى نقطة التقاء الدائرة الرأسية للجرم مع مستوى الأفق. وتتراوح قيمتها من صفر إلى 360 ° .

ولمشاهد آخر في نصف الكرة الجنوبي، يقاس الإتجاه الجرمي السماوي ابتداء من نقطة اتجاه الجنوب الجغرافي (شرقاً) عكس عقارب الساعة إلى أن نصل نقطة التقاء الدائرة الرأسية للجرم مع مستوى أفق المشاهد . (انظر الشكل المرافق) .

شكل (4)
يوضح تحديد موقع نجم بالنسبة لراصد باستخدام نظام الإحداثيات الأفقية (زاويتين)

والجدير بالذكر أن هذا النظام بدائي، يتعلق بالانطباع المتولد لدى المشاهد بأنه موجود على مستوى أفقي، وفي مركز نصف كرة واسعة حيث تتحرك الأجرام السماوية على

سطحـها، وهو نظام محلي بحت، حيث أن أي راصدين في مكانين مختلفين على الأرض، يقيسان إحداثيات أفقية لنفس النجم، ولو تم رصدهما له بنفس الوقت . ولذلك فإن هذه الإحداثيات تتغير مع الزمن . وعند استعمال نتائج الراصدين من قبل راصد ثالث آخر، فإنه يجب عليه عمل التحويلات اللازمة لهذه النتائج حسب خط عرضه الجديد .

ونعبر عن احداثيات نجم ما بالاحداثيات الاستوائية كما يلي :

$$RA = 2^h \; 10^m \; 5^s$$

$$\delta = 30^\circ \; 50' \; 30''$$

وحسب النظام الأفقي نعبر عن إحداثيات نجم آخر كما يلي :

$$Alt = 37^\circ$$

$$Azm = 120^\circ$$

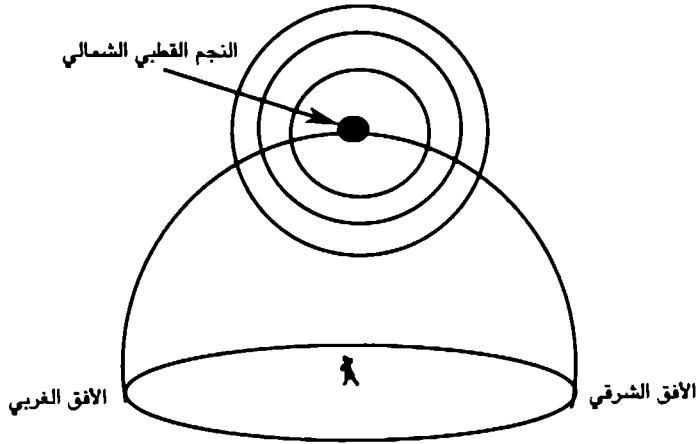
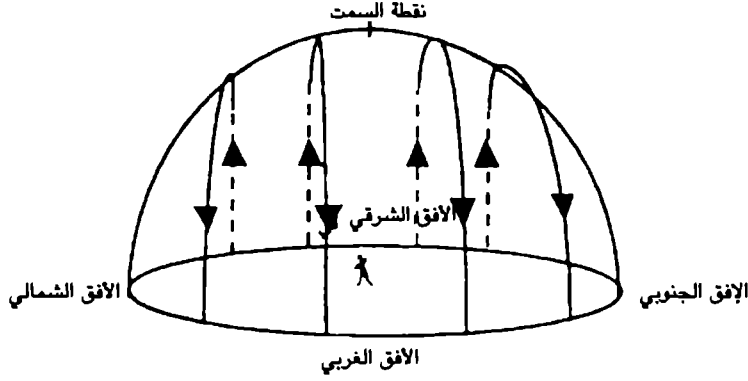
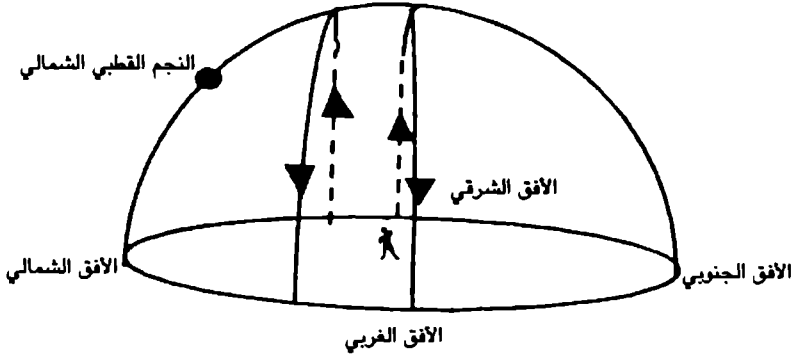
5:1 اثر مكان المشاهد (خط عرضه) على صورة الجزء المرئي من الكرة السماوية

لا شك بأن الموقع الجغرافي للمشاهد هو الذي يحدد سمته ودائرة الأفق بالنسبة له، وهذه بدورها ستحدد مساحة السماء التي يمكن رؤيتها . **وإليك بعض الامثلة :**

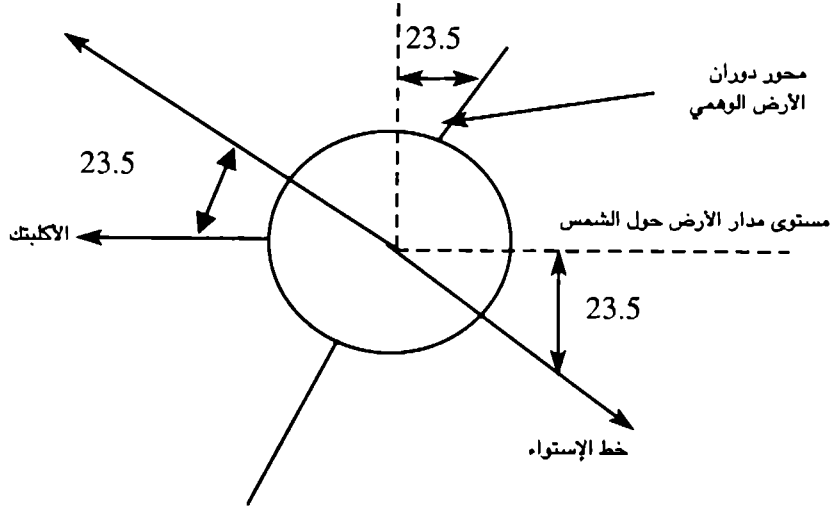
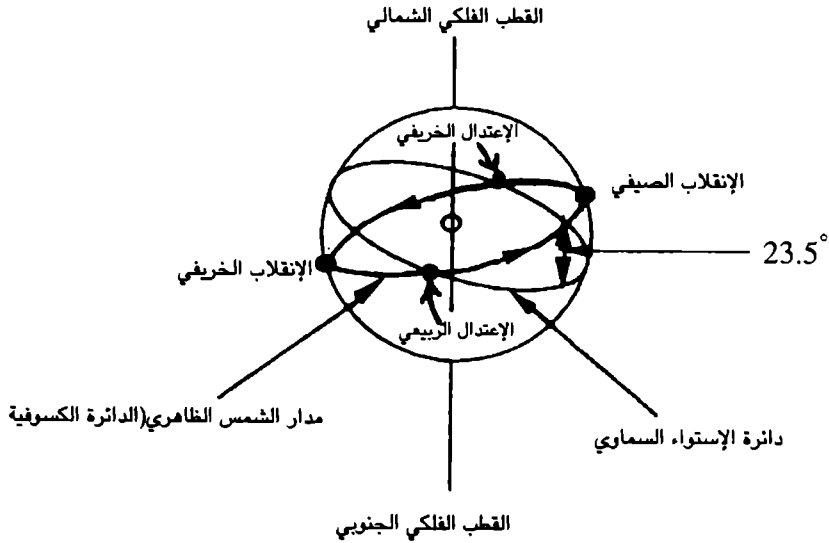
1- مشاهد يقف على قطب الأرض الشمالي (خط عرض 90°) وسيرى النجم القطبي فوق سمته (90° فوق الأفق) وسيكون خط الإستواء الفلكي في دائرة أفقه ولن يتمكن من رؤية أي من نجوم نصف الكرة الجنوبية السماوية . وستظهر له بعض النجوم التي تدور حول النجم القطبي الشمالي على دوائر موازية لدائرة خط الإستواء الفلكي، وهذه النجوم لا تشرق ولا تغرب، وتدعى بالنجوم الأبدية الظهور (انظر الشكل 5 1) .

2- مشاهد يقف على خط الإستواء الأرضي (خط عرض صفر درجة)، فيسكون خط الإستواء الفلكي فوق سمته، أما نجم القطب الشمالي الفلكي فسيكون في مستوى دائرة الأفق عنده(صفر درجة فوق الأفق)، وستشرق الشمس من جهة الشرق تماماً وتسير بموازاة خط الإستواء ثم ترتفع وسط السماء، وتغيب جهة الغرب تماماً، أي يستطيع رؤية نجوم نصفي الكرة الشمالية والجنوبية (انظر الشكل 5 ب) .

3- مشاهد يقف بين خط الإستواء والقطب الشمالي على خط عرض 30° شمالاً فإن النجم القطبي الفلكي الشمالي سيكون زاوية ارتفاعه فوق الأفق 30° أيضاً، أما خط الإستواء المساوي فسيراه على دائرة زواله جنوب سمته بـ 30° ، والنتيجة أن هذا المشاهد يستطيع أن يرى جميع النجوم الشمالية الواقعية من بين زاوية ميل δ = 60° ⟵ 90° شمالاً، دائماً، وفي كل ليلة وتدعى هذه النجوم (بالنجوم الأبدية الظهور الشمالية) . North Circumpolar Stars

بينما النجوم الواقعة ما بين 60° شمالاً وخط الإستواء، فإنه يرى أجزاء منها حسب ساعات الليل والفصول . ومن نجوم نصف الكرة الجنوبية يستطيع رؤية النجوم الواقعة ما بين خط الإستواء و 60° جنوب خط الإستواء، حيث يرى قسماً منها، وتبقى عالية فوق الأفق لمدة أقل من 12 ساعة تقريباً . وما عدا ذلك لن يستطيع رؤية النجوم الواقعة من 60° جنوباً إلى القطب الجنوبي السماوي (انظر الشكل 5 جـ) .

شكل (5 ا) يوضح حركة النجوم كما تشاهدها في القطب الشمالي

شكل (5 أ) يوضح حركة النجوم كما تشاهدها على خط الإستواء

شكل (5جـ) يوضح حركة النجوم بين خط الإستواء والقطب الشمالي .

6:1 حركة الشمس الظاهرية على الكرة السماوية (Ecliptic)

تتحرك الشمس ظاهرياً على مسار دائري على القبة السماوية خلال سنة واحدة، متخذة الأرض كمركز لها، ويدعى أحياناً بالدائرة الكسوفية، وهي تميل عن مستوى دائرة الإستواء السماوي بزاوية مقدارها '27 °23 وهذه معرضة للتّغير بمقدار خمسة ثوانٍ قوسية في القرن الواحد . والخلاصة أن مسار الشمس الدائري نصفه شمال خط الإستواء والنصف الآخر جنوب خط الإستواء (انظر الشكل 6 ب) .

شكل (6 ا) يوضح ميلان خط الإستواء
على مستوى مدار الأرض حول الشمس

شكل (6ب) يوضح الاكلبتك (الدائرة الكسوفية للشمس)

1:7 ظاهرة الفصول الأربعة على الأرض

إن السبب الرئيسي في حدوث الفصول الأربعة على الأرض هو ميل محور الأرض على الإتجاه العمودي على مسارها بزاوية مقدارها 23.5° ، وهذا الميل ثابت باستمرار مما ينتج عنه تغير تعامد الشمس على الأرض على مدار السنة، واختلاف مساحة أجزاء سطح الأرض المعرضة للشمس في مختلف دوائر العرض بنصفي الكرة الأرضية . والسبب الآخر لحدوث الفصول الأربعة هو الدورة السنوية للأرض حول الشمس، حيث ينتج اختلاف في طول الليل والنهار . ونلاحظ أنه لو كان محور الأرض عمودياً على مستواها، لن تظهر الفصول الأربعة، وسيكون طول الليل يساوي طول النهار . (أنظر الشكل 16) .

ولذلك في 3/21/ من كل عام تكون الشمس في مسارها عند نقطة الإعتدال الربيعي (Vernal Equinox) نقطة تقاطع الدائرة الكسوفية مع خط الإستواء حيث، يتغير ميل الشمس من الجنوب إلى الشمال، وتؤشر بداية فصل الربيع وتكون هذه النقطة الأولى من نقاط برج الحمل . وهنا يتساوى طول الليل والنهار، في جميع أنحاء العالم في ذلك اليوم . (ميل الشمس $(R.A= 0^{h} , \delta = 0^{\circ})$.

وأما نقطة التقاطع الثانية للدائرة الكسوفية مع دائرة الإستواء السماوي، فتحدث في 9/23/ من كل عام، حيث تكون الشمس قد وصلت بداية برج الميزان، وتدعى هذه النقطة بالإعتدال الخريفي (Autumnal Equinox) ، حيث يتغير ميل الشمس من الشمال إلى الجنوب مؤشراً بذلك بداية فصل الخريف . وفي هذا اليوم يتساوى طول النهار والليل، في جميع أنحاء العالم.

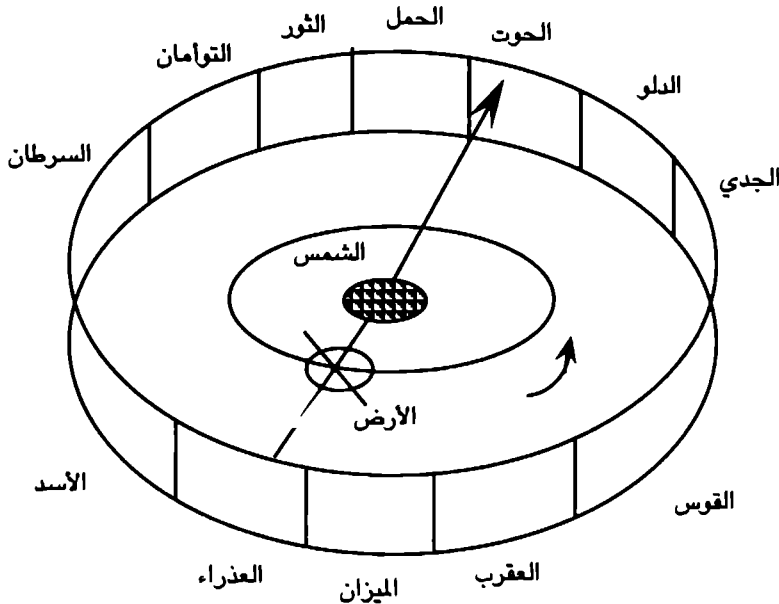
وتكون إحداثيات الشمس $(\delta = 0^{0} , R .A = 12^{h})$ ، ويحدث بداية فصل الصيف في 6/21/ من كل عام، حيث تكون الشمس عمودية على خط عرض 23.5° شمالاً (مدار السرطان) ، وتدعى هذه اللحظة فلكياً بالإنقلاب الصيفي (Summer Solstice) ، حيث يكون طول النهار في النصف الشمالي أطول ما يمكن، وطول الليل أقصر ما يمكن، وعلى العكس من ذلك في نصف الكرة الجنوبية .

وأما بداية فصل الشتاء فيحدث في 12/21/ من كل عام، حيث تكون الشمس عمودية على خط عرض 23.5° جنوباً (مدار الجدي) وتدعى هذه اللحظة فلكياً بالإنقلاب الشتوي (Winter Solstice)، حيث يكون طول النهار في نصف الكرة الشمالية أقصر ما يمكن، وطول الليل أطول ما يمكن أيضاً، وعلى العكس من ذلك في نصف الكرة الجنوبي . ويلاحظ بأن نقطة شروق الشمس تختلف من يوم لآخر طوال العام، ففي الإعتدالين الربيعي والخريفي تشرق

الشمس بالضبط من جهة الشرق تماماً وتغيب بالضبط في جهة الغرب تماماً .

أما في الصيف فتشرق الشمس من الشمال الشرقي وتغيب في الشمال الغربي، أما في الشمتاء فتشرق من الجنوب الشرقي وتغيب في الجنوب الغربي .

1:8 منطقة البروج Zodiac

وهي نطاق دائري في وسط الكرة السماوية، عرضه 16° ، ويتوسطه مسار الشمس الظاهري والذي يدعى أحياناً(بدائرة البروج)، حيث تسير الشمس والقمر والكواكب السيارة الأخرى ضمنه، وكلمة البروج اصطلاح يطلق على بعض المجاميع النجمية التي تمر فيها الشمس . وتنقسم إلى 12 قسماً متساوياً، كل قسم يقابل 30° عند مركز الكرة السماوية، وتسير الشمس في كل برج منها شهراً كاملاً،ومنازل الشمس بالنسبة للبروج أربعة منازل، هي : الربيع والصيف والخريف والشتاء، وكل منزل يحتوي على ثلاثة بروج، فالربيع يحتوي على برج الحمل والثور والجوزاء، والصيف يحتوي على برج السرطان والأسد والعذراء، والخريف يحتوي على برج الميزان والعقرب والقوس، والشتاء يحتوي على برج الجدي والدلو والحوت (أنظر الشكل 7) .

شكل (7) نطاقة البروج

بينما تدور الأرض حول الشمس، يبدو لنا أن الشمس تقابل برجاً معيناً وهو الحوت في الشكل وفي خلال شهر تبدو لنا الشمس مقابل برج الحمل، وهكذل خلال سنة، تبدو لنا الشمس ثانية مقابل برج الحوت

ويبين الجدول التالي التاريخ الميلادي لبداية انتقال الشمس لرأس كل برج :

الحمل21/ 3 / – الثور 21 / 4 / – الجوزاء (التوأمان)22/ 5 / –

السرطان22/6 / – الأسد 23/ 7/ – العذراء (السنبلة) 23/ 8 / –

الميزان 23/9/ العقرب 23/10/ – القوس 22/11/ –

الجدي 12/22 الدلو 21/1/ الحوت 21/2/ .

1:9 نظام التوقيت

اعتمد مفهوم الإنسان للزمن على سطح الأرض على التناوب الدوري لليل والنهار من جهة، وتناوب الفصول الأربع من جهة أخرى، حيث حاول منذ القِدَم تتبع ما ينجم عن مرور الوقت من تغيرات مثل ملاحظة مسار الشمس في النهار بين شروقها وغروبها، وحاول مراقبة القمر في طلوعه وأفوله، وفي مراحله المتعددة، واتفق النالس على ما يعرف باليوم كوحدة لقياس الزمن . وهناك نوعان من الأيام .

اليوم الشمسي Solar day : وطوله 24 ساعة تقريباً . ويعرف على أنه الفترة الزمنية بين شروقين أو غروبين متتاليين للشمس أو الفترة الزمنية التي تحتاجها الشمس لتقطع خط الزوال لراصد ما على الأرض مرتين متتاليتين . (انظر الشكل 9) .

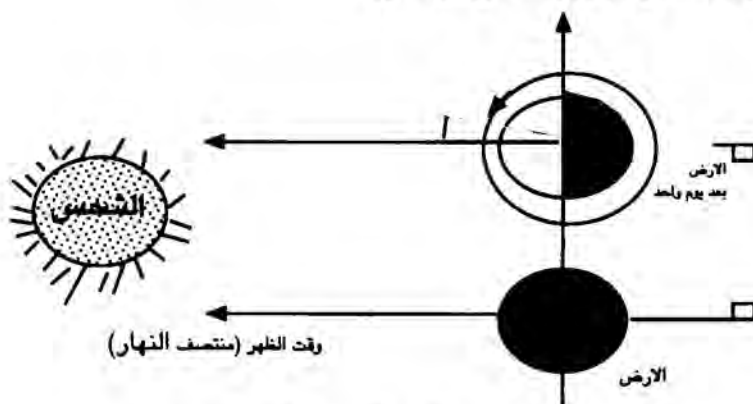
اليوم النجمي Sideral day : ويبلغ طوله 23 ساعة و 56 دقيقة، و 4 ثوان، وهو الفترة الزمنية التي تحتاجها الأرض لتدور دورة كاملة حول محورها الوهمي . أو الفترة الزمنية التي يحتاجها نجم ما (عدا الشمس) ليقطع خط الزوال لراصد ما على الأرض مرتين متتاليتين . لاحظ أن طول اليوم النجمي أصغر من طول اليوم الشمسي بحوالي 4 دقائق تقريباً، وهذا النقص ناتج عن انتقال الأرض بمعدل درجة واحدة على مدارها حول الشمس في اليوم الواحد.

وعندما حاول الإنسان استخدام وحدة أكبر لقياس الأيام، استخدم الشهر Month ومدته 30 يوماً تقريباً . ومن الواضح أن هذا المصطلح مأخوذ من كلمة القمر Moon، حيث رصد الناس حركة القمر الظاهرية حول الأرض، فعرف الناس بأن القمر يحتاج إلى 27.5 يوم ليكمل دورة حول الأرض، هذا لو كانت الأرض ثابتة . ولكن الأرض تدور في نفس الوقت الذي يدور فيه القمر حول الأرض،الأمر الذي يمدد القمر حول الأرض إلى 29.5 يوم . وهي الفترة الزمنية بين ظهور القمر على شكل هلال جديد مرتين متتاليتين . وبعدها حاول قياس فترات أطول

كعمر الإنسان، مثلاً فاستخدم وحدة السنة، وهي الفترة الزمنية التي تحتاجها الأرض لتكمل دورة كاملة في مدارها حول الشمس . حيث استخدمت السنة الشمسية Tropical Year وتعادل 24. 365 يوم، وتقاس بالفترة الزمنية التي تحتاجها الشمس لتقطع نقطة الإعتدال الربيعي مرتين متتاليتين . وهناك ما يعرف بالنسبة النجمية Sidereal Year وتقاس بالفترة الزمنية التي تحتاجها الأرض لتكمل دورة كاملة حول الشمس بالنسبة لنقطة ثابتة بين النجوم وتعادل 25 . 365 يوم .

ولما كان زمن دورة الأرض حول الشمس تعادل 25 , 365 يوم، وتسهيلاً للأمر، فقد حذف الكسر وجعلت السنة العادية (المدنية) 365 يوم . وأما ما يستجمع من الكسر المحذوف كل أربع سنوات وهو يومكامل، فيضاف إلى كل سنة رابعة، وتدعى بالسنة الكبيسة Leap Year وتعادل 366 يوماً .*

والحق أن التقويم الهجري الذي يؤرخ به المسلمون هو تقويم قمري، حيث اعتبرت السنة 12 شهراً قمرياً، والشهر القمري تتراوح مدته ما بين 29 و 30 يوماً، أي أن السنة القمرية (الهجرية) تعادل 12 x 29.5 = 354 يوماً . أي أن السنة الهجرية أقصر من السنة الشمسية بأحد عشر يوماً تقريباً .

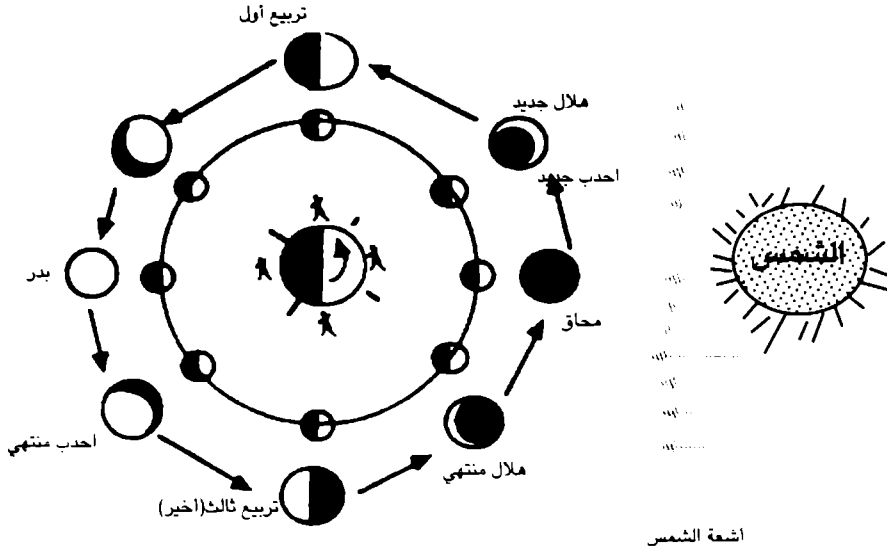
ويبدأ الشهر القمري برؤية الهلال، وينتهي عند رؤيته في الشهرالثاني، حيث تسبق الليالي الأيام . وتكون أول ليلة يغرب فيها القمر بعد غروب الشمس هي الليلة الأولى لإبتداء الشهر القمري . وإليك الأشهر الهجرية القمرية ومعانيها :

شكل (9) يوضح اليوم الشمسي واليوم النجمي

* (ويكون فيها شباط (29) يوماً، ومجموع ارقامها يقبل القسمة على العدد (4)

محرم (الشهر الذي حُرّم فيه القتال)، صفر(شهر الجوع والهلاك)، ربيع الأول (يدل على بواكير الإعتدال الربيعي) ربيع الآخر (يدل على اواخر الإعتدال الربيعي)، جمادى الاولى (يدل على برودة المناخ)، جمادى الآخرة (وفيه تظل موجة البرد سائدة، ويدل على انتهاء البرودة)، رجب (ويعني الشهر الموقر ويمنع فيه القتال)، شعبان (سمي هكذا لتشعب العرب وتفرقهم طلباً للمياه)، رمضان (تشبيه بالرمضاء اي الحر الشديد)، شوال (موعد شولان الناقة بذَنَبِها استعداداً للحمل)، ذو القعدة (كان العرب يقعدون فيه عن الغزو وطلب الكلا)، ذو الحجة (شهر الحجيج إلى بيت الله الحرام) .

1:10 أطوار القمر ودورانه حول الأرض Phases of the Moon

إن من يراقب القمر خلال إحدى الليالي، سيظهر له وكأنه يتحرك نحو الغرب مثل بقية النجوم، وذلك بسبب دوران الأرض حول نفسها من الغرب إلى الشرق(بعكس عقارب الساعة)، إلا إن المراقبة المتتابعة للقمر لعدة ليالٍ تبرهن بأن للقمر حركة دورانية باتجاه الشرق بالنسبة لأي خلفية من النجوم المجاورة الثابتة . وسترى كيف أنه يتأخر ظهوره تبعاً لذلك في كل ليلة بمقدار 50 دقيقة . وتفسير ذلك أن القمر يدور حول الأرض ويقطع 360° خلال 27.5 يوماً تقريباً بالنسبة للنجوم .

وتدعى هذه الدورة النجمية للقمر حول الأرض (Sidereal Period) وعلى هذا المعدل سيقطع حوالي 13°يومياً على مساره حول الأرض، وهذه تعادل 52 دقيقة زمنية يومياً على دائرة الساعة ويلاحظ المراقب أن شكل القمر يتدرج من الخيط الرفيع(الهلال) حتى البدر، وسبب هذا التغير أن الشمس تضيء أجزاء معينة من سطح القمر، والتي تنعكس إلى الأرض فيرى جزء بسيط منها، ليعتمد شكله على موقع القمر من الأرض والشمس وهذا يؤكد دوران القمر حول الأرض . ويحتاج القمر حتى يظهر لنا على الأرض من هلال جديد إلى هلال جديد أخر حوالي 29.5 يوم تقريباً وتدعى هذه بالدورة الاقترانية للقمر Synodic Preiod وهي اكبر بحوالي يومين تقريباً، وذلك بسبب حركة الأرض حول الشمس في مسارها حيث تغير مكانها بحالي 27° تقريباً ، ولذلك يحتاج القمر ليومين إضافيين حتى يكمل دورة كاملة حول الأرض . انظر الشكل المرفق (أوجه القمر) .

شكل (10) تتغير أطوار القمر بسبب اختلاف مقادير السطح المضاء الممكن رؤيته من على الأرض

منازل القمر

1) المحاق(القمر الوليد) New Moon : عندما يكون القمر في الوضع المبين في الشكل (10)، ويكون نصفه المقابل للشمس مضاء(نهار)، والنصف الآخر المقابل للأرض مظلم (ليل)، يكون الثلاثة على استقامة واحدة، الشمس والقمر والأرض تقريباً، فلا يرى من القمر شيئاً بالنسبة لنا على الأرض .

2) الهلال الجديد (Waxing Crescent) : عندما يصل القمر هذا الموضع يكون عمره حوالي 2-3 أيام، فيضاء نصفه، ولكننا لا نستطيع أن نرى إلا جزءاً بسيطاً من القسم المضاء، فيظهر على شكل (حرف C مقلوبة)، ويظهر في الأفق الغربي من السماء بعد مغيب الشمس مباشرة .

3) التربيع الأول (First Quarter) : وهنا تكون الزاوية الحادثة بين موضع الشمس والأرض والقمر (قائمة °90) ، ويُرى الجزءُ المنير من القمر على شكل حرف (D بالإنجليزية نصف دائرة)، ويكون عمره أسبوع تقريباً لأنه قطع ربع مساره حول الأرض بالنسبة للنجوم .

4) الأحدب الجديد (Waxing Gibbous): وهنا تكون الزاوية الحادثة بين مكان الشمس والأض والقمر زاوية منفرجة (عكس عقارب الساعة)، ويكون عمر القمر من 10-12 يوم، حيث يكون الجزء المنير عبارة عن قرص دائري ناقصاً منه جزء على شكل هلال من الطرف الأيسر .

5) البدر (Full Moon) : وهنا يقع القمر على استقامة الشمس والأرض، ويصبح عمره حوالي 14 يوماً ويكون قد قطع نصف مساره حول الأرض، ويظهر لنا لأول مرة فوق الأفق الشرقي في وقت غروب الشمس، الساعة السادسة مساء تقريباً . ويظهر نصف القمر مضاء تقريباً على شكل قرص دائري .

6) الأحدب المنتهي (Waning Gibbous) : وهنا يكون عمر القمر حوالي 17-18 يوم ويظهر الجزء المنير من القمر على شكل قرص دائري ناقصاً هلال من الطرف الأيمن .

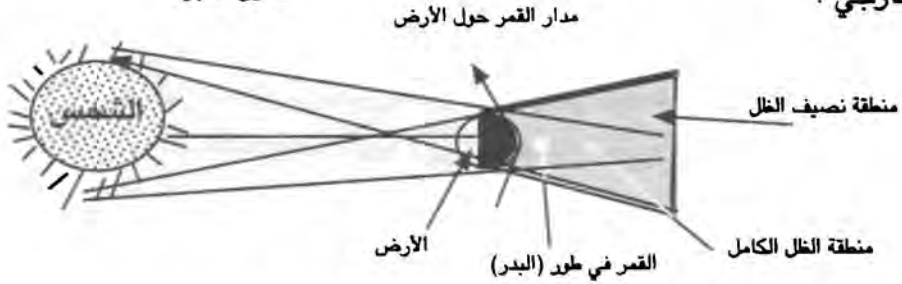
7) التربيع الثالث (Third Quarter) : وهنا تكون الزاوية الحادثة بين مكان الشمس والقمر قائمة(مع عقارب الساعة)، وعمره حوالي 21 يوماً، حيث يكون قد قطع ثلاثة أربا ع المسار الدائري حول الأرض بالنسبة للنجوم، ويظهر الجزء المنير على شكل حرف D مقلوبة (نصف دائرة) .

8) الهلال القديم (Waning Crescent) : ويكون عمره حوالي 24-25 يوم، ويظهر على شكل (حرف C)، ولمشاهدته يجب رصده قبل شروق الشمس بقليل في الأفق الشرقي .

وتجب الإشارة هنا إلى أن المراقب الموجود على القمر، يشاهد أطوار للأرض أيضاً .. وهي المراحل التي تكمل الأطوار القمرية حتى الوصول إلى القرص المضاء بشكل كامل .

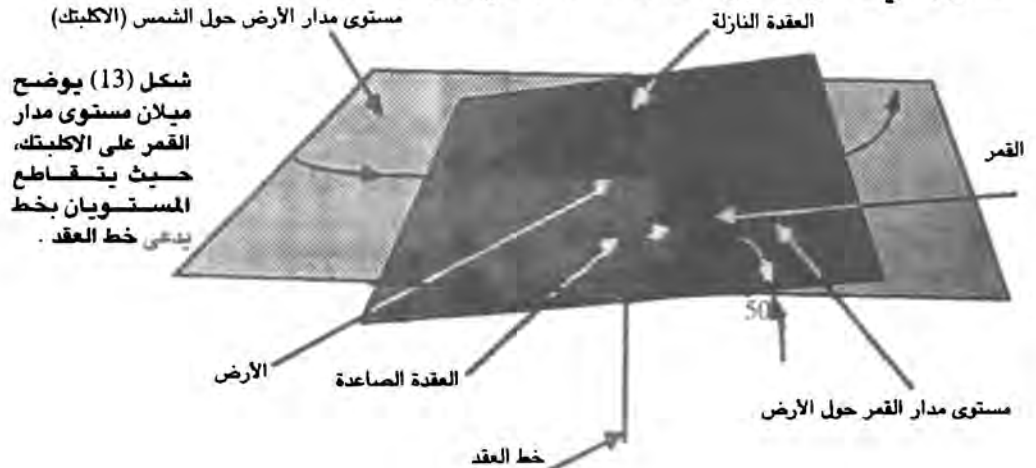
1:11 ظاهرتي الخسوف والكسوف

1:11:1 خسوف القمر (Lunder Eclipse):

يحدث خسوف القمر عند توسط الأرض ما بين الشمس والقمر، وحجبها الضوء عن القمر، وبشكل عام عندما يقع القمر أثناء مسيره في مداره بالقرب من الخط المستقيم الواصل بين مركزي الشمس والأرض وعبوره منطقة ظل الأرض المخروطي الشكل المتكون في الفضاء الخارجي .

شكل (11) (ا) يوضح الخسوف الكلي

وشروط حدوث الخسوف الكلي للقمر (Total Lunaer Eclipse) هي :

أ) يجب أن تكون كلاً من الشمس والأرض والقمر على استقامة واحدة، كما في الشكل أعلاه . وذلك عندما يكون القمر بدراً . (مرة في الشهر) .

ب) يجب أن يكون القمر عند إحدى العقدتين، وتنتج العقدتين ميلان مستوى مدار القمر حول الأرض مع الأكلبتك)مستوى مدار الأرض حول الشمس) بزاوية تعادل 5°، حيث يتقاطع المستويان في نقطتين تدعيان بالعقدة الصاعدة ، والعقدة النازلة .

شكل (13) يوضح ميلان مستوى مدار القمر على الاكلبتك، حيث يتقاطع المستويان بخط يدعى خط العقد .

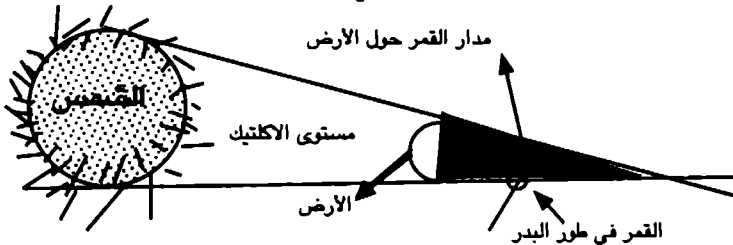
ويبلغ طول مخروط الأرض حوالي 558 ألف ميل . ويمكه حوالي 5.7 ألف ميل، وسرعة القمر في مداره حوالي 2000 ميل في الساعة، وقطر القمر حوالي 2160 ميل، لذلك يحتاج القمر إلى ساعة كاملة من الوقت للدخول إلى منطقة الظل، وساعتين حتى يقطع مخروط الظل كلياً، ويحتاج للخروج من منطقة الظل حوالي ساعة أخرى .

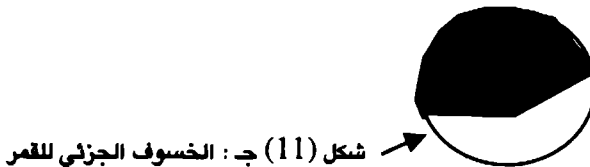
والجدير بالذكر أن القمر لا يختفي تماماً عندما يمر في مخروط الظل، بل إنه يبقى مرئياً، ويظهر بلون قرميدي(أحمر قاتم)، وهذه الإضاءة الجزئية بسبب انكسار أشعة الشمس عن الغلاف الجوي للأرض (يعمل كعدسة)، حيث يشتت ويمتص الأشعة الزرقاء والبنفسجية، ويمرر الأشعة البرتقالية والحمراء فقط .

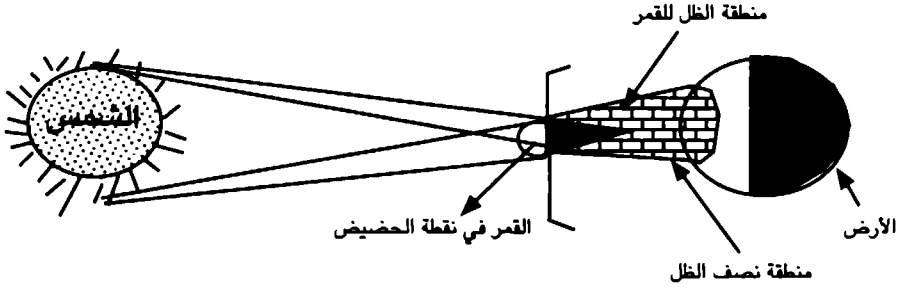
1:11:2 الخسوف الجزئي للقمر Partial Lunaer Eclipse

ويحدث عندما يمر جزء من القمر خلال منطقة الظل، وعندها يغطي ظل الأرض قسماً من القمر، ويكون الحد الفاصل بين الجزء المضيء وغير المضيء على شكل قوس دائري، ليدل على كروية شكل الأرض .

ويرى خسوف القمر في جميع مناطق نصف الكرة الأرضية الي يكون عندها ليل . وقد يتوقع البعض أن يحدث الخسوف مرة كل شهر (عندما يكون القمر بدراً) ولكن بسبب ميلان مستوى مدار القمر حول الأرض على الاكلبتك، يقضي القمر في مساره نصف الوقت فوق الأكلبتك والنصف الآخر من الوقت تحت الأكلبتك . ولا يقع في نفس مستوى الأكلبتك (شرط الاستقامة الصحيحة)، إلا جزءاً صئيلاً من الوقت .

وتدل الحسابات الفلكية الحالية المرتبطة بدورة الساروس على أن عدد الخسوفات الممكنة الحدوث تتراوح من صفر إلى ثلاثة خسوفات قمرية في السنة الواحدة .

شكل (11)ب يوضح القمر وهو يعبر منطقة الظل الكامل للارض فيحدث خسوف جزئي له

شكل (11) جـ : الخسوف الجزئي للقمر

1:10:3 كسوف الشمس Solar Eclipse :

يحدث كسوف الشمس حين يتوسط القمر بين الأرض والشمس، بحيث يحجب ضوء الشمس عن الأرض . والكسوف نوعان :

شكل (15) يوضح كسوف الشمس الكلي لمشاهد في منطقة تلاقي مخروط ظل القمر مع الأرض ويرى مشاهد في منطقة نصف الظل كسوف جزئي للشمس

1:11:3 a كسوف الشمس الكلي Total Solar Eclipse :

ويحدث حين يبلغ مخروط ظل القمر سطح الأرض، مما يؤدي إلى احتجاب نور الشمس كلياً عن منطقة صغيرة على سطح الأرض، ويكون قرص الشمس عندها مظلماً حالك السواد، تحيط به هالة من نور وهّاج، ويظلم الجو، وتهبط الحرارة، وتلجأ الحيوانات إلى أوكارها، ومن شروط حدوثه :

أ) أن يكون القمر (محاقاً)، أي في آخر ليلة من ليالي الشهر القمري .

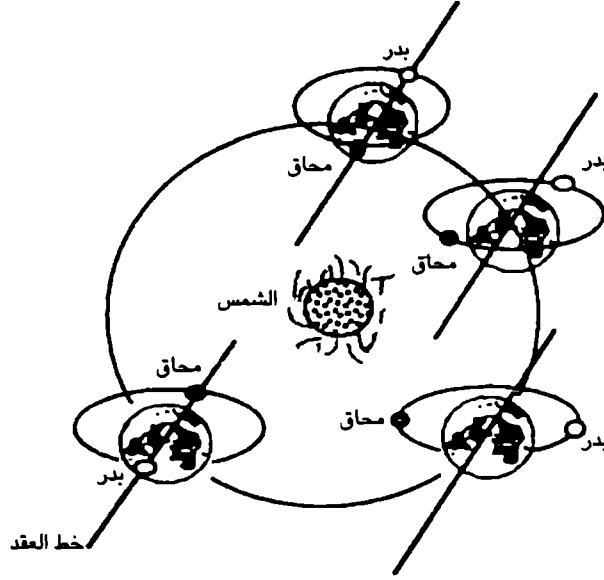
ب) أن تكون الشمس والأرض وبينهما القمر في (حالة اقتران، أي على استقامة واحدة)، أو قريباً جداً من ذلك .

جـ) أن تكون المسافة يومها بين الأرض والقمر كافية لبلوغ مخروط الظل سطح الأرض (أي أن القمر في نقطة الحضيض على مساره) .

ويستمر كسوف الشمس الكلي لمدة تتراوح ما بين 4 - 7.5 دقيقة تقريباً، ولا يظهر إلا على منطقة صغيرة، بضعة كيلومترات مربعة .

1:11:3 b كسوف الشمس الجزئي Partial Solar Eclipse

ومن شروط حدوثه :

أ) أن يكون القمر (محاقاً) .

شكل (14) يوضح شروط حدوث كسوف الشمس عندما يكون محاقاً وقريب جداً من خط العقد بينما يحدث خسوف القمر فقط إذا كان القمر بدراً وقريباً من خط العقد .

ب) أن تكون الشمس والأرض وبينهما القمر في حالة اقتران (أو قريب من الإقتران)، أي أخفض قليلاً أو أعلى قليلاً من الخط الواصل بين مركزي الشمس والأرض .

جـ) وصول مخروط نصف الظل لجزء من سطح الأرض . وهنا تظهر الشمس كاملة ولكنها باهتة النور، كامدة اللون . وحينما يسقط جزء جانبي من مخروط ظل القمر على سطح الأرض، فإنه يغيب قسماً من الشمس عنها، ويبدو ذلك الجزء مظلماً، بينما بقية أجزاء الشمس كالحة النور، وكأنه غشاها حجاب .

وهناك نوع يدعى الكسوف الحلقي Annular Solar Eclipse

ومن شروطه ليتحقق :

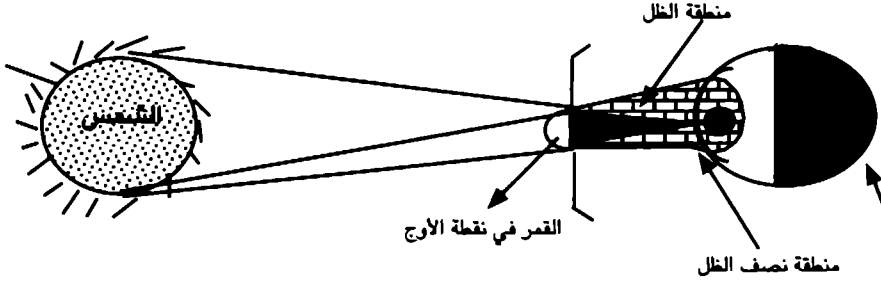
أ) أن يكون القمر محاقاً .

ب) أن تكون الشمس والأرض وبينهما القمر على استقامة واحدة (في حالة اقتران) .

جـ) أن لا يصل رأس مخروط ظل القمر لسطح الأرض، بل يكون قريب منها .

وهذا ينتج عندما يكون القمر في أبعد نقطة ممكنة (نقطة الأوج) .

وهنا لا نرى الشمس مكسوفة كلياً من أي مكان على سطح الأرض، وإنما تبدو الشمس بصورة حلقة مضيئة .

وتُعد ظاهرة الكسوف حدثاً فلكياً هاماً، حيث يرتحل الفلكيون آلاف الأميال ليقوموا برصد ودراسة الهالة الشمسية، في أفضل ظروف مثل هذه، وهذه تساعدهم بدورها على معرفة تركيب الشمس والتفاعلات الموجودة، ويحذر العلماء من النظر إلى نور الهالة الشمسية بالعين المجردة، لأنه يؤذي العين، وقد يسبب العمى . وأما ظاهرة خسوف القمر فهي مهمة أيضاً، إذ يقوم العلماء بقياس تغير درجة السطوع (اللمعان) لقرص القمر في فترة الخسوف الكامل بأجهزة خاصة .

شكل (17) يوضح الكسوف الحلقي للشمس، كما يرى في منطقتي الظل(الذي لا يصل الأرض حقيقة) أو نصف الظل على سطح الأرض

شكل (16) توضح كسوف الشمس، يبدو وكان القمر يلهتم جزءاً من قرص الشمس ويزداد حجمه تدريجياً من كسوف جزئي حتى يتم حدوث الكسوف الكلي

اسئلة وتمارين

1) عرّف ما يلي : علم الفلك . الكرة السماوية، دائرة الأفق، دائرة البروج .

2) ما المقصود بكل من : زاوية صعود النجم، زاوية ميل الجرم السماوي، اتجاه الجرم السماوي، خط العقد .

3) أ. متى يحدث خسوف القمر؟

ب. ما هو طور القمر عند حدوث الكسوف الكلي للشمس .

جـ . ما نوع الكسوف الشمسي الذي يحدث إذا كان القمر في نقطة الأوج ؟

4) لماذا لا يحدث الخسوف والكسوف كل شهر ؟

5) مشاهد على خط عرض ($+27^\circ$) كم مرج في السنة سيرى الشمس فوق نقطة سمته ؟

6) إذا غابت الشمس في الساعة السادسة مساء، وغاب القمر في التاسعة مساء من نفس الليلة ، ففي أي طور يكون القمر ؟

7) إذا كان النجم اللامع(سيريس) يشرق في الساعة العاشرة مساء لليلة ما، فمتى يكون شروقه في الليلة التالية ؟

8) إذا شاهدت النجم القطبي الشمالي (بولاريس) من مكانك على الأرض وكانت زاوية ارتفاعه عن الأفق الشمالي (30°) فما هو خط عرض المكان الذي تقف عليه ؟

9) نجم يقع على خط زوال مشاهد ما وعلى بعد (25°) شرقي نقطة الاعتدال الربيعي، فما هي زاوية صعود النجم؟ (بالساعات والدقائق والثواني) .

10) أ . لماذا تتغير درجة الحرارة على الأرض خلال فصول السنة ؟

ب . لماذا يختلف طول اليوم الشمسي عن اليوم النجمي ؟

جـ . لماذا يتغير شكل المجاميع النجمية في السماء من وقت لآخر طوال السنة ؟

د . لماذا تبدو حركة النجوم في السماء من الشرق إلى الغرب ؟

هـ . لماذا يظهر لنا القمر بأوجه مختلفة ؟

الفصل الثاني

تطور علم الفلك عبر التاريخ

من المؤكد أن الكثير من الشعوب البدائية شاهدوا السماء، بأجرامها وقمرها ونجومها حيث تضيء الشمس نهارهم، وينير القمر لياليهم، ولاحظوا ظواهر فلكية مختلفة، مثل الشعوب الصينية والهندية وسكان الشرق الأوسط ولكن ما وصل إلينا عبر آثارهم ومخطوطاتهم قليل جداً ومن مخلفات تلك الشعوب التي وصلتنا في مجال علم الفلك ما يلي :

2:1 الفلكيون في بلاد الرافدين (العراق) 3000 ق . م .

اهتم سكان ما بين النهرين وخاصة الكلدانين والآشورين والسومريين والبابليين بمراقبة الأجرام السماوية وكان الدافع الرئيسي لهم هو استخدام علم الفلك للتنبؤ بإرادة الآلهة (التنجيم) ومعرفة المستقبل حيث رصدوا حركة الشمس والقمر والكواكب السيارة وعرفوا الدائرة الكسوفية، وعملوا التقاويم فكانت سنتهم القمرية 12 شهراً، وقسموا الشهر إلى أربعة أسابيع حسب أوجه القمر، وقسموا دائرة السماء إلى (360) جزء متساوي سُمّي كل منها بالدرجة، وقُسّمت الدرجة إلى ستين قسماً متساوي، سُمّي كل منها دقيقة قوسية، ثم قسمت الدقيقة إلى ستين قسماً متساوي سمي كل منها بالثانية القوسية .

ويعتبر البابليون أول من وضع جداول فلكية لمساعدة علم التنجيم وأول من قسم اليوم إلى 24 ساعة . وحددوا طول السنة إلى أقرب (4) دقائق .

2:2 الفلكيون المصريون القدماء (وادي النيل)

برع المصريون القدماء بمراقبة النجم والأجرام السماوية الأخرى وعلى الرغم من عبادتهم للشمس فكان الدافع الرئيسي لانشغالهم بالفلك استخدامه في التطبيقات الزراعية فوضعوا جداول تبين مواعيد ظهور الكوكبات النجمية بدقة (مثل برج الصياد) واهتموا بالنجم المعروف اليوم (بالشعرى اليمانية) الذي كان ظهوره قبل شروق الشمس من جهة الشرق في أواخر تموز بداية للسنة الجديدة عندهم، وموعداً لفيضان نهر النيل الذي فيه حياتهم . وعرفوا الكواكب عطارد والزهرة والمريخ والمشتري، وكانت السنة عندهم 12 شهراً وكل شهر 30 يوماً واليوم 24 ساعة والسنة 25. 365 يوماً . وصنعوا المزولة الشمسية لقياس مرور الوقت.

2:3 الفلكيون (الإغريق) (700 ق . م – 200 م) .

اهتم فلاسفة اليونان بعلم الفلك واستطاعوا وضع نظريات نفسر الأجرام السماوية بدقة

كبيرة وكانت نظرتهم للكون بسيطة وساذجة، فقالوا بأن الماء هو أصل الكون كله وأن الأرض هي مركزه، وهي تتألف من قرص يطفو على سطح الماء، وأن النجوم تدور حولها ومن أشهر فلاسفتهم الذين اشتغلوا بعلم الفلك والجبر والهندسة :

أ) فيثاغورس Phythagoras (580 – 500 ق . م) اعتقد بأن الظواهر الطبيعية يمكن وصفها عن طريق الرياضيات وكان أول من أكد بأن الأرض كروية الشكل وأن مسارات الكواكب دائرية تماماً حول الأرض .

ب) افلاطون Plato (428 – 374 ق .م)

اعتقد بأن الأرض هي مركز الكون (Geocentric Theory) وأن جميع الكواكب كروية الشكل وتسير بمسارات دائرية .

ج) أرسطوا طاليس (384 - 322) ق . م Aristotle كان أول من استخدم القوانين الطبيعية لتفسير مظاهر الكون وأقام الدليل على كروية الأرض حيث اعتمد على مشاهدات هامة منها :

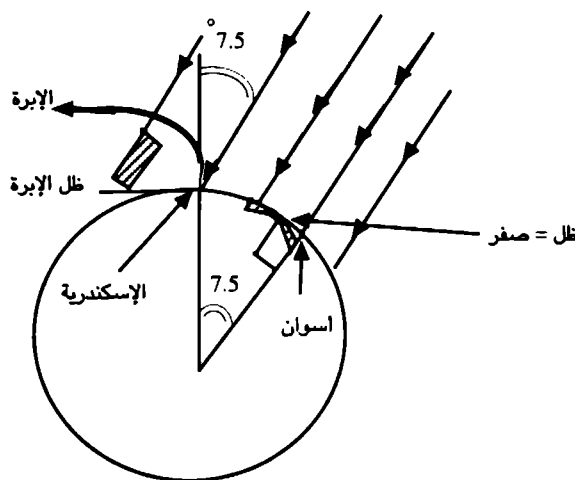
أولاً : عرف أرسطو أن مظهر الأبراج في السماء تتغير كلما اتجه الإنسان جنوباً أو شمالاً.

ثانياً : لاحظ أن ظل الأرض على القمر عند حدوث الخسوف يكون منحنياً وهذا يؤكد أن الأرض كروية .

ثالثاً : إن الأجسام تسقط نحو مركز الأرض بخطوط مستقيمة تقريباً . كما انه إعتقد بأن العالم مكون من أربعة عناصر أساسية هي التراب والهواء والنار والماء ، وأن الأرض هي مركز الكون، وأن الحركات الدائرية للأجرام السماوية هي الحركات الوحيدة التي تسمح بها الطبيعة .

د) أرستارخوس Aristarchus أول من آمن بنظرية مركزية الشمس Heliocentric Theory، ولمح إلى إمكانية حركة الأرض حول الشمس . إلا أن هذه النظرية لم ترَ النور لمخالفتها الفكر الإغريقي، وخاصة لعدم وجود إثبات قاطع بأن الأرض تتحرك حول الشمس وعدم تمكنهم من قياس التزيح النجمي .

هـ) إيراتوسثينش Erato Sthenes كان عالماً في الفلك والرياضة والجغرافيا(وكان أمين عام مكتبة الإسكندرية بعد إقليدس)، قام بقياس طول محيط الأرض حيث كان يعتقد بكروية الأرض وكان يعلم أن بئراً عميقة في أسوان والتي تقع جنوب الإسكندرية بحوالي 650

ميلاً وفي وقت الظهيرة في أطول يوم من أيام السنة كانت الشمس في أسوان تقع فوق الرأس بالضبط وكانت صورة الشمس تسطع في قاع البئر حتى تصل الماء وتنعكس صورتها عليها، فقام في نفس اليوم والساعة بقياس طول الظل الذي ترميه إبرة طويلة في الإسكندرية وبمعرفة طول الظل وإرتفاع الإبرة حصل على ما يكفيه لحساب طول محيط الأرض ومن ثم حجمها .

ويوضح الشكل المرسوم ببساطة الأمر حيث قام بقياس طول الإبرة وظلها في الإسكندرية، وقاس الزاوية المحصورة بين الإبرة وخط يمتد من قمة الإبرة إلى نهاية الظل فوق الأرض فكانت 7.5 درجة وفي هذه اللحظة لم تكن الشمس تعطي أي ظل في أسوان (أي أن الزاوية المماثلة قيمتها صفراً) وعلى ذلك تكون المسافة بين أسوان والإسكندرية (650 ميل) مكافئة إلى 7.5 درجة من محيط الأرض على فرض أنها كرة . فإن طول محيط الأرض التي تكافئ°360 يعطى بالعلاقة التالية :

$$\frac{360^\circ}{7.5^\circ} = \frac{\text{محيط الأرض}}{\text{المسافة بين مدينتين}}$$

ومنها ينتج أن محيط الأرض = 2800 ميل .

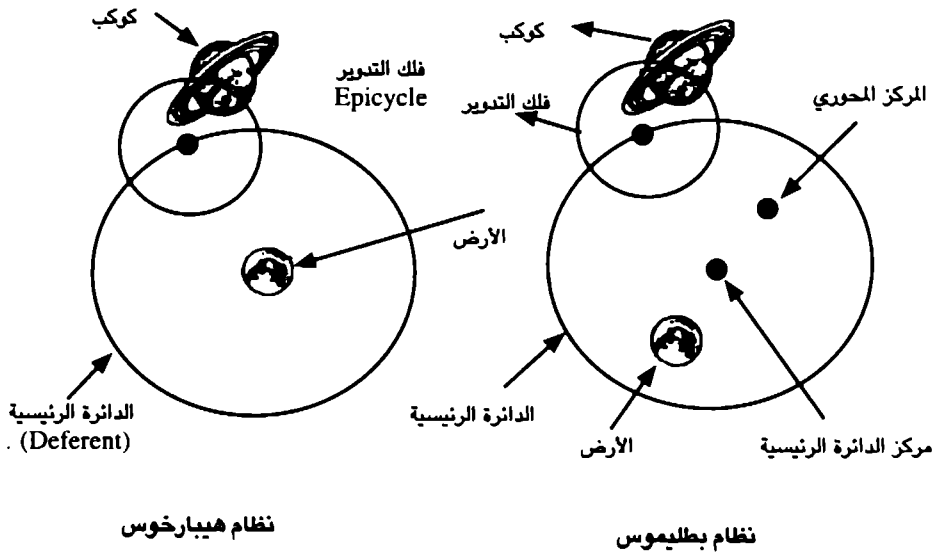
وهذه تزيد بمقدار 12 % عن القيمة الحقيقية المعترف بها الآن وعلى الرغم من الخطأ الناجم عن عدم معرفة المسافة بين المدينتين بشكل جيد، إلا أنها تدل على قوة العقل المطلق عند هذا العالم .

و) هيبارخوس Hipparchus (190 - 120 ق . م) قام هذا العالم بوضع فهرس لمواضع النجوم، واكتشف الحركة الترنحية لمحور الأرض، ووضع سلماً لتصنيف لمعان النجوم سماه الأقدار النجمية، حيث إعتبر النجوم اللامعة القوية تقابل أرقام قدرية صغيرة ، والنجوم الخافتة اللمعان تقابل أرقام قدرية كبيرة . ولم يأخذ بنظرية مركزية الشمس لأنه لم يستطع أن يلاحظ أي إزاحة ظاهرية لمواقع النجوم طوال السنة، كما أنه طور نظرية فلك التدوير لتفسير الحركة التراجعية للكواكب العملاقة . حيث يتحرك الكوكب على محيط دائرة صغيرة ، تُدعى بفلك التدوير (Epicycle) ومركزها يدور حول الأرض على محيط دائرة كبيرة تدعى الدائرة الرئيسية (Deferent) .

ز) بطليموس Ptolemaeus أمن بنظرية مركزية الأرض حيث تدور الكواكب في مدارات دائرية حول الأرض الثابتة في مكانها. وحدد مواقع الكواكب والقمر وحركة الشمس حول الأرض.

وتبلورت آراؤه في كتاب دعي (بالمجسطي) ودعاه العرب (بالأعظم) حيث أدخل بطليموس تعديلات معقدة على فلك التدوير لتفسير حركات الكواكب الغير منتظمة، بأن جعل فلك التدوير يدور حول نقطة أخرى بعيدة عن الأرض، حيث يكون للكواكب سرعة دوران مختلفة في أحد جانبي الدائرة الرئيسية عنها في الجانب الآخر .

نظام هيبارخوس

نظام بطليموس

وعلى الرغم من نظامه المعقد غير الصحيح، إلا أنه كان يفسر الكثير من الظواهر الفلكية وحركة الكواكب ولم يجرؤ أحد على تحدي نموذجه للكون وبعده تراجعت الحضارة اليونانية تدريجياً حتى جاء العرب والمسلمون .

4:2 الفلكيون الهنود

ارتبطت دراسة الهنود للفلك بالتنجيم في البداية، وبرز عندهم علماء قاموا بدراسةحركة النجوم والشمس والكواكب، وتمكنوا من التنبؤ بمواعيد الكسوف ومن أشهر علمائهم (براهما غوبتا) الذي ألف كتاباً هاماً ترجمه العرب فيما بعد ودعوه (السند هند) .

5:2 الفلكيون الصينيون

قام كهنة الصين برصد السماء، وتسجيل ملاحظاتهم الفلكية والتي اختلطت بالتنجيم وتم إكتشاف أقمار المشتري، وسجلوا ثلاث انفجارات نجمية عظمى في الأعوام (1006م ، 1064م ، 1572م).كما شاهدوا مذنب هالي 29 مرة، وكانت سنتهم 24 . 365 يوم .

6:2 الفلكيون العرب والمسلمون (800 - 1400 م)

كانت نظرة العرب المسلمين إلى الكون علمية وواقعية حيث كان للإسلام تأثيراً قوياً عليهم، فحثهم على طلب العلم والتدبر في الكون من سماوات وأرض وشمس وقمر، وكان لحاجتهم الدينية في معرفة أوقات الصلاة واختلافها حسب الموقع الجغرافي، ومعرفة اتجاه الكعبة في صلواتهم ومساجدهم وحاجتهم لرؤية هلال شهر رمضان لبدء الصيام .

كما أن تسامح الإسلام مع غير المسلمين من العلماء وتقديره لجهودهم، فاحترمهم الخلفاء والأمراء، وتُرْجِمَتْ كُتُبهم إلى اللغة العربية وعلى رأسها كتاب المجسطي لبطليموس الذي يُعد من أمهات كتب الإغريق .

ولما كان التنجيم مرتبطاً بعلم الفلك منذ القدم، حارب الإسلام التنجيم ولم يهتم به الخلفاء الراشدين . وهناك حادثة كسوف الشمس يوم وفاة إبراهيم ابن النبي محمد عليه الصلاة والسلام وقال الناس إن الشمس كُسِفَتْ حُزناً على موتِ إبراهيم فقال النبي الكريم بأن الشمس والقمر آيتان من آيات الله لا تكسفان لموت أحد .

وبعد أن استقرت أمور الدولة الإسلامية في زمن العباسين بدأت الدراسات الجادة للنجوم

على زمن أبي جعفر المنصور وغيره حيث كان بلاطه مليئاً بهم يتشاورون ويتحاورون ويشجعهم الخليفة في عملهم مادياً ومعنوياً ومن أشهر علماء العرب والمسلمسن في علم الفلك:

بني موسى :

قاموا في عهد الخليفة المأمون بقياس طول درجة واحدة من محيط الأرض القطبي وذلك إعتماداً على تغير زاوية إرتفاع النجم القطبي الشمالي مع خط عرض المكان . أي كلما إتجهنا شمالاً على نفس خط الطول يزداد زاوية إرتفاع النجم القطبي الشمالي فوق الأفق الشمالي وكانت النتيجة (66.66 ميل تقابل درجة واحدة من سطح الأرض).

الرازي :

وهو أبو الحسين عبد الرحمن الصوفي . ألف كتاباً أسماه (صور الكواكب الثمانية والأربعين) حيث رسم المجموعات النجمية في خرائط موضحاً أسمائها ولمعانها والوانها وشكلها واقدارها .

البيروني :

هو محمد بن أحمد أبو الريحان البيروني وضع كتاباً سماه (القانون المسعودي في الهيئة والنجوم) بحث فيه علوم الفلك والتواريخ والتقاويم القديمة والنجوم واقدارها، ونقاط تقاطع دائرة البروج مع خط الإستواء وأدرك أن نقاط التقاطع تتغير باستمرار .

ومن العلماء الآخرين أبو الوفا البوزجاني ونصير الدين الطوسي وابن الشاطر والبتاني وابن الهيثم، وقام العرب بصناعة الكثير من الآلات الفلكية حيث أقام هؤلاء في مراصد منتشرة في بغداد والشام وأنطاكيا والقاهرة وسمرقند والأندلس والقيروان .

وفي الحقيقة كان للعرب والمسلمين بصمات واضحة على تطور علم الفلك حيث سميت النجوم بأسماء عربية ما زالت مستخدمة إلى يومنا هذا فعلى سبيل المثال لا الحصر :

ALTAIR	الطائر ....
DENEB	الذنب ....
FAMALHOUT	فم الحوت..
BENET NASH	بنات نعش..
BETELGEZE	إبط الجوزاء..
DENEB ALGEDI	ذنب الجدي..
ALKAID	القائد..
SAIF	سيف..
SOUHAIL	سهيل..
ALGOL	الغول..
ALGORAB	الغراب..
ALKES	الكاس..
DAHIR	ظهر ....
KAUS	قوس..
SPICA	سبيكة..
THUBAN	ثعبان..

والخلاصة أن للعرب دوراً كبيراً في حفظ العلوم الفلكية القديمة من الضياع حيث ترجموها للعربية وصححوا أخطائها، ودققوا ما فيها، واتخذوا الرصد النجمي منهجاً علمياً، وتحققوا مما توصل إليه الذين سبقوهم . وأضافوا إليها الكثير في مجال الفلك والرياضيات والهندسة وغيرها ومهدوا السبيل لهدم نظريات بطليموس المعقدة على يد علماء أوروبا أمثال كوبرنيكوس وتايكو براهي وكبلر وغيرهم كما سيأتي فيما بعد .

7:2 نظرة الأوروبين إلى الكون (1500 م - حتى اليوم)

أخذ علم الفلك في أوروبا يتقدم على يد بعض العلماء الذين صاغوا عدداً من القوانين والنظريات والأجهزة العلمية حيث ابتدأ عصر النهضة الفلكية حقيقة وامتدت إلى يومنا هذا .

كوبرنيكوس Copernicus البولندي (1473 - 1543 م) ومن إنجازاته:

أ) تبنى نظرية مركزية الشمس، أي أن الكواكب تدور حول الشمس في مدارات دائرية تامة .

ب) استطاع أن يحدد المسافات النسبية بين الكواكب والشمس، وسرعتها النسبية، وزمن دورتها حول الشمس، كما وجد أن سرعة الكوكب تزداد كلما كان قريباً من الشمس .

ج) أكّد على دوران الأرض حول محورها الوهمي أثناء حركتها الإنتقالية حول الشمس وتمايل هذا المحور حول القطب الفلكي الشمالي مما يؤدي إلى تغيّر نقطتي الإعتدالين الربيعي والخريفي .

د) فسر الحركة التراجعية لبعض الكواكب على أنها نتيجة لاختلاف سرعة الكواكب والأرض.

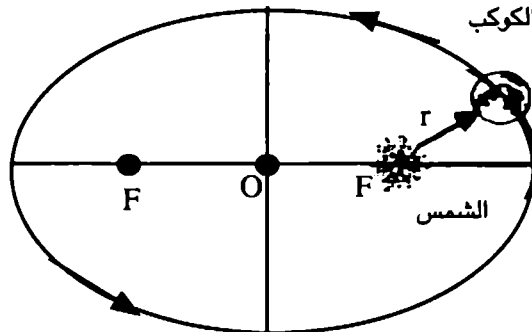
تايكو براهي الدنماركي Tycho Brahe (1546 - 1601 م)

كان مسؤولاً عن أحد المراصد المهمة في الدنمارك، حيث صمم الكثير من الآلات والأجهزة الفلكية لقياس مواضع النجوم والكواكب، واستطاع خلال عشرين سنة من العمل المتواصل أن يسجل نتائجه في سجلات خاصة وعرف عنه الدقة في القياس وأخذه لمتوسط القراءات وشاهد نجم فوق متفجر SUPER NOVAE علم 1572 وشاهد مذنب هالي عام 1577 وكانت نتائجه لمراحل حركة المريخ مهمة جداً لمن تسلم مسؤولية المرصد من بعده وهو جوهانس كبلر.

جوهانس كبلر (الالماني) Johannes Kepler (1571 - 1630م)

توصل كبلر بعد أن حلل نتائج زميله تايكو براهي حول كوكب المريخ إلى أن مدار المريخ حول الشمس ليس دائرياً بل إهليجياً مغلقاً، وإلى إحتمالية وجود كوكب بين المريخ والمشتري حيث كشف الرصد أخيراً عن وجود حزام من الكويكبات Asteroids بين الكوكبين المذكورين .

والحقيقة أن كبلر قد وضع الأساس لعلم الفلك الحديث وقضى نهائياً على أفكار بطليموس المعقدة ، وتتلخص نظريته حول المجموعة الشمسية بثلاث قوانين هي :

القانون الأول: (تدور الكواكب جميعها حول الشمس في مدارات إهليجية مغلقة (قطع ناقص ELLIPTICAL ORBITS حيث تحتل الشمس إحدى بؤرتيها) .

القانون الثاني: (يمسح الخط الوهمي الواصل بين مركز الكوكب ومركز الشمس أثناء دوران الكوكب حول الشمس، مساحات متساوية في أزمنة متشاوية .

لذلك فإن الكوكب يبطئ في حركته عندما يكون بعيداً عن الشمس (نقطة الأوج للكوكب)، ويسرع في حركته عندما يكون قريباً من الشمس (نقطة الحضيض للكوكب) حيث القوة المؤثرة على الكوكب هي قوة الجاذبية بين الشمس M_O والكوكب m وهذه حسب قانون نيوتن الثاني تساوي حاصل ضرب الكتلة × التسارع وعلى اعتبار أن التسارع مركزي، فإنه يمكن إثبات أن سرعة الكوكب المدارية تتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي لبعده عن الشمس كما يلي :

$$\vec{F} = \frac{-GmMo}{r^2}$$

$$\vec{F} = m\,\vec{a}$$

$$\vec{F} = m\left(\frac{-v2}{r}\right)$$

$$\therefore -\frac{mv^2}{r} = -\frac{GmMo}{r^2} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{GM_O}{r}}$$

ويمكن كتابة قانون كبلر الثاني على الصورة: $\frac{dA}{dt} = \frac{L}{2m}$ (L)

حيث تمثل (L) الزخم الزاوي للكوكب، و(m) تمثل كتلة الكوكب، و (A) المسافة المقطوعة في وحدة الزمن .

القانون الثالث : (يتناسب مربع زمن دوران الكوكب حول الشمس طردياً مع مكعب متوسط بعده عن الشمس) . حيث يعطى رياضياً بالعلاقة :

$$P^2 = a^3$$

(P) : زمن دورة الكوكب حول الشمس بالسنوات الأرضية

(a) متوسط بعد الكوكب عن الشمس بالوحدة الفلكية . والوحدة الفلكية هي متوسط بعد الأرض عن الشمس وتعادل 149 مليون كليو متر (93 مليون ميل) تقريباً .

وهناك صيغة أخرى طورها العالم نيوتن لهذا القانون وتستخدم لأي نظام ثنائي مثل القمر الذي يدور حول الأرض، أو نجمان يدور كل منهما حول مركز الكتلة المشترك على الشكل التالي :

$$(M_1 + M_2)\,P^2 = a^3$$

حيث (M1) : كتلة القمر بدلالة كتلة الشمس .

(M2) كتلة الأرض بدلالة كتلة الشمس .

P : زمن دورة القمر حول الأرض بالسنوات الأرضية .

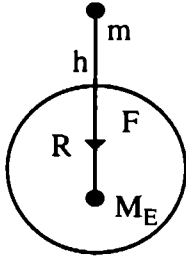
a: متوسط بعد القمر عن الأرض بالوحدة الفلكية.

ويمكن تطبيقه على حركة الكواكب حول الشمس وغالباً تُهمل كتلة الكواكب لصغر قيمتها كما في المثال التالي :

$$\frac{\text{كتلة الأرض}}{\text{كتلة الشمس}} = 0.000003 \text{ من كتلة الشمس}$$

وباستخدام وحدات قياس أخرى (كيلو غرام، متر، ثانية) يمكن كتابة صيغة نيوتن السابقة على الشكل التالي :

$$(M_1 + M_2)\, P^2 = \frac{4\,\pi^2\, a^3}{G}$$

حيث(G) ثابت الجاذبية العام.

غاليليو غاليلي (الإيطالي) Galilleo Galili 1642 - 1960 م

قام غاليليو بأبحاث تتعلق بحركة الأجسام على الأرض، ووضّح أنها تسقط بسرعة واحدة إذا أهملنا مقاومة الهواء لها، وإن تسارع هذه الأجسام ثابت بغض النظر عن كتلتها، فتقدم علم المكانيكا ورسخت أركانه ومفاهيمه الأساسية .

m
h
F
R
M_E

فمكا في الشكل، جسم يسقط من إرتفاع (h) فوق سطح الأرض فإن القوة المؤثرة عليه هي قوة الجاذبية العامة بين سطح الأرض والجسم تعطى بالعلاقة التالية :

$$\vec{F} = -\frac{GmM_E}{(h+R)^2}$$

وإذا كانت (h) صغيرة جداً بالنسبة إلى نصف قطر الأرض (R) تصبح :

$$F = -\frac{GmM_E}{R^2}$$

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$$\therefore -\frac{GmM_E}{R^2} = m\,a$$

$$\vec{a} = \frac{GM_E}{R^2} = \vec{g}$$

حيث تدعى $(\vec{g})$ بعجلة الجاذبية الأرضية .

كما اخترع منظاره الفلكي، (تلسكوب) حيث اكتشف أقمار المشتري الأربعة وشاهد وجوده الزهرة حيث ترى كهلال وتربيع أول وأحدب ثم كبدر ... الخ . وكشف عن البقع الشمسية وقال إنها مناطق حرارتها أخف مما حولها ولذلك تبدو معتمة .

وحذر من النظر مباشرة إلى الشمس (بدون مرشح ضوئي) لأنه يؤدي للعمى، واستخدم منظاره لمشاهدة سطح القمر فوجده مغطى بالحفر والفوهات البركانية، وقال بأن المناطق المضيئة فيه سلاسل جبلية والمناطق المعتمة هي بحار (وهي في الواقع سهول) واكتشف طبيعة البندول البسيط واستخدمه لقياس الوقت .

اسحاق نيوتن (البريطاني) Isaac Newton (1642 - 1727 م) .

كان نيوتن من العلماء المبدعين الذين وضعوا أصول علم الميكانيك، فأوجد مفهوم الكتلة، ومبدأ القصور الذاتي للأجسام، والقوة المحركة والتسارع، والطاقة، والزخم الزاوي، ومركز الكتلة، واكتشف طريقة للحصول على طيف الأجسام المضيئة عن طريق تحليل الضوء بواسطة منشور زجاجي، كما اكتشف قانون الجاذبية العام :

القانون الأول : يظل كل جسم على حالته من السكون أو الحركة المنتظمة على خط كستقيم مالم تؤثر عليه قوة خارجية تغير من حالته، وعلى الرغم أن هذا القانون كان غاليليو قد افترحه أولاً ولكنه لم يجعله عاماً بحيث ينطبق على حركة الأجرام السماوية كالأرض كما فعل نيوتن ويستنتج من هذا القانون أن الكوكب يجب أن يتحرك في الأصل على خط مستقيم بدلاً من مسار منحني (مغلق) حول الشمس إذا كانت هناك قوة تؤثر عليه نحو مركز المسار.

القانون الثاني : يتناسب معدل التغير في كمية حركة أي جسم مع القوة المؤثرة عليه، ويكون في اتجاه خط عمل تلك القوة

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

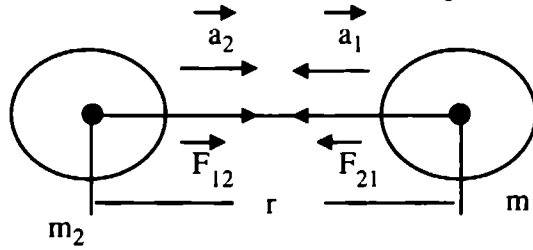
حيث $\vec{a}$: هي تسارع الجسم .

ويعرف تسارع الجسم على أنه معدل تغير السرعة المتجهة للجسم مع الزمن :

$$\vec{a} = \frac{\vec{dv}}{dt} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{dt}$$

القانون الثالث : لكل فعل رد فعل مساوي له في المقدار ومضاد له في الإتجاه .

القانون العام في الجانبية : ويطبق على كل جسمين في الكون وينص على ما يلي :

(يرتبط أي جسمين بقوة جذب متبادلة بينهما حيث تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما، وعكسياً مه مربع المسافة بين مركزيهما .

$$\vec{F}_{12} = - \vec{F}_{21}$$

$$F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2} = m_1 a_1 \Rightarrow$$

$$a_1 = \frac{Gm_2}{r^2}$$

حيث (a_1) : تسارع الجسم الأول نحو الجسم الثاني .

وبالمثل تسارع الجسم الثاني نحو الأول : يعطى بالعلاقة التالية :

$$a_2 = \frac{Gm_1}{r_2}$$

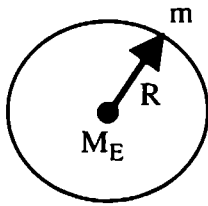
ولذلك فإن للكواكب أثناء حركتها حول الشمس، تسارعاً مركزياً نتيجة وجود قوة الجاذبية بين الكواكب والشمس . وإليك عزيزي القارئ بعض المفاهيم الأساسية في الفيزياء والتي تُعد ضرورية للمشتغلين في علم الفلك .

كتلة الجسم :

وتعرف على أنها مقدار ما في الجسم من مادة، ولا يتغير قيمتها بتغير موقع الجسم على

الأرض، وتقاس بوحدة الغرام أو الكيلو غرام . وهي مقياس لمقدار القصور الذاتي للجسم . أي أن الجسم الكبير الكتلة يحتاج إلى قوة كبيرة لتحريكه من سكونه . والجسم الصغير الكتلة يحتاج إلى قوة صغيرة لتحريكه من سكونه .

وزن الجسم على الأرض :

ويعرف على أنه مقدار قوة جذب الأرض لذلك الجسم، وتقاس بوحدة تدعى الداين أو النيوتن فبالنسبة لجسم على سطح الأرض يكون وزنه (W)

$$W = F = \frac{GmM_E}{R^2} = mg$$

$$g = \frac{GM_E}{R^2}$$

حيث (g) تدعى بتسارع الجاذبية الأرضية .

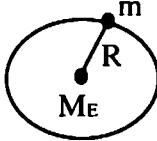
ثابت الجاذبية العام . $G = 6.67 \times 10^{-11}\ Nt\ m^2 / Kg^2$

كـــتلة الأرض $M_E = 6 \times 10^{24}\ kg$

نصف قطر الأرض $R = 6730\ Km = 6730 \times 10^3\ m$

$g = 9.8\ m / sec^2$

ولذلك يعتمد وزن الجسم على بعده عن مركز الأرض . فوزن الجسم يزداد في قاع وادي سحيق، ويقل وزنه عند رأس جبل مرتفع .

الطاقة :

وتعرف على أنها القدرة على إنجاز شغل ما . وتتميز إلى نوعين :

أ- الطاقة الحركية لجسم متحرك وتعطى بالعلاقة :

$$K.E = \frac{1}{2} mv^2$$

K.E ↓ joul ↓ erg

m ↓ Kg ↓ gm

v ↓ m/sec ↓ cm\sec

ب- طاقة الوضع التجاذبية للأجسام : وتعرف على أنها الطاقة المختزنة في الجسم بسبب وضعه عن سطح الأرض وتعطى بالعلاقة التالية :

$$U = -\frac{GmM_E}{R}$$

حيث (R) : المسافة بين مركزي الجسم والأرض على اعتبار أن طاقة الوضع التجاذبية صفراً عند نقطة المالانهاية . وقد تعطى بالعلاقة التالية :

$$U = Mgh$$

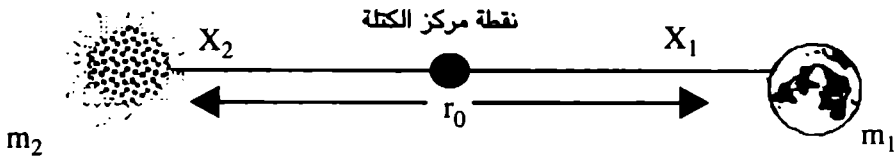
حيث(h) : ارتفاع الجسم عن سطح الأرض على اعتبار أن طاقة الوضع التجاذبية تساوي صفراً عند سطح الأرض . وتقاس بوحدة تدعى الجول .

مركز الكتلة :

في حالة جسمين يدوران حول نقطة مشتركة بينهما فإن النقطة التي يكون عندها عزم الكتلة الأولى مساوياً لعزم الكتلة الثانية تدعى نقطة مركز الكتلة .

حيث :

$m_1 x_1 = m_2 X_2$ ....(1)

$X_1 + X_2 = r_0$ ....(2)

وبحل المعادلتين نستنتج أن :

$$X_1 = \frac{m_2 r_0}{(m_1 + m_2)}$$

$$X_2 = \frac{m_2 r_0}{(m_1 + m_2)}$$

وينطبق ذلك على الأرض والشمس

$$m_2 = M_O = 2 \times 10^{30}\ Kg$$
$$m_1 = 6 \times 10^{24}\ Kg$$
$$r_0 = 149 \times 10^6\ Km$$
$$X_2 = 450\ Km$$

ولما كانت نصف قطر الشمس يساوي 6.9×10^5 كيلو متر فإن مركز الكتلة المشترك بينهما تقع داخل الشمس .

الزخم الزاوي :

تمتلك الأجسام التي تدور حول مركز معين، في مدار بيضاوي أو دائري زخماً زاوياً يعطى بالعلاقة التالية :

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v}$$

$$L = m\,v\,r$$

m → Kg ، v → m/sec ، r → meter

حيث يدل (r) على بعد الجسم عن مركز الدوران وأثناء حركة الكوكب حول الشمس يكون الزخم الزاوي للكوكب كمية ثابتة المقدار والإتجاه .

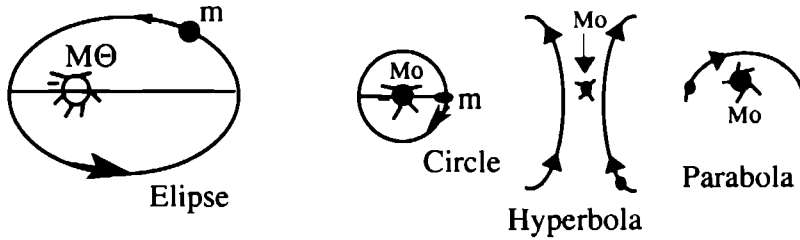
الطاقة الكلية الميكانيكية للجسم

وهي مجموع كل من الطاقة الحركية وطاقة الوضع، فهي لكوكب يدور حول الشمس تعطى بالعلاقة التالية :

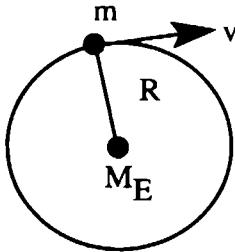
$$E_{tot} = K.E + P.E$$
$$= \frac{1}{2} mv^2 - \frac{GmM_0}{r}$$

فإذا كانت الطاقة الميكانيكية الكلية $Etot < 0$ (سالبة) فإن المدار سيكون إهليجياً مغلقاً (قطع ناقص) ELLIPSE أو دائرة CIRCLE وهذه معظم مدارات الكواكب بشكل عام أو الأقمار الصناعية .

وإذا كانت الطاقة الميكانيكية الكلية $Etot > 0$ (موجبة) فإن مدار الكوكب سيكون مفتوح

(قطع زائد) Hyperbola وهذه معظم مدارات المذنبات وإذا كانت الطاقة الميكانيكية الكلية Etot = 0 (صفراً) فإن مدار الكوكب سيكون منحنى مفتوح (قطع مكافئ) Parabola .

مثال :

قمر صناعي يدور في مسار دائري نصف قطره R حول مركز الأرض احسب سرعته المدارية وطاقته الكلية . وزمن دورته حول الأرض .

إن السبب في دورانه في مسار دائري هو قوة الجذب بين القمر الصناعي وبين الأرض والتي تعطى بالعلاقة :

$$\frac{-GmM_E}{R^2} = m\left(-\frac{v^2}{R}\right)$$

$$v = \sqrt{\frac{GM_E}{R}}$$

حيث (v) : سرعة القمر الصناعي في مداره الرئيسي .

الطاقة الميكانيكية الكلية = طاقة الحركة + طاقة الوضع .

$$E_{tot} = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{GmM_E}{R}$$

$$= \frac{1}{2} m\left(\frac{GM_E}{R}\right) - \frac{GmM_E}{R} = -\frac{GmM_E}{2R}$$

$$< 0$$

ولحساب زمن دورة القمر الصناعي حول الأرض (T) تستخدم العلاقة :

$$T = \frac{2\pi R}{V}$$

ولحساب سرعة الإفلات لجسم من جاذبية الأرض يجب تزويد الجسم بطاقة حركية كافية للتغلب على طاقة الوضع التجاذبية السالبة وعندها تكون الطاقة الكلية الميكانيكية عند اللانهاية تساوي صفراً .

أي أن :

$$\frac{1}{2} m v^2 - \frac{GmM_E}{R} = 0$$

$$\text{or} \quad \frac{1}{2} m v^2 = \frac{GmM_E}{R}$$

$$v = \sqrt{\frac{2GM_E}{R}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}\ Kg}{6378 \times 10^3\ m}} = 11.2\ Km / Sec$$

هذه هي السرعة اللازمة لأي جسم أو جرم سماوي أو أي جزيء غاز أو صاروخ للإفلات من جاذبية الأرض بغض النظر عن كتلته، وبالنسبة لجزيئات الغاز الموجودة في الغلاف الجوي لبعض الكواكب تعتمد طاقة حركتها على درجة حرارة الجو . وتعطى طاقة حركة الجزيء الواحد بالعلاقة :

$$K.E = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{3}{2} KT$$

أو

$$v = \sqrt{\frac{3KT}{m}}$$

حيث K : ثابت بولتزمان = $K = 1.38 \times 10^{-23}\ J$

T : درجة الحرارة المطلقة للغاز $T = 273 + C^{\circ}$

m : كتلة الجزيء الغازي بالكيلو غرام .

ومن الملاحظ أن احتمال وجود الغلاف الغازي لكوكب ما يعتمد على ما يلي :

أ) درجة حرارة سطح الكوكب (تناسب عكسي) .

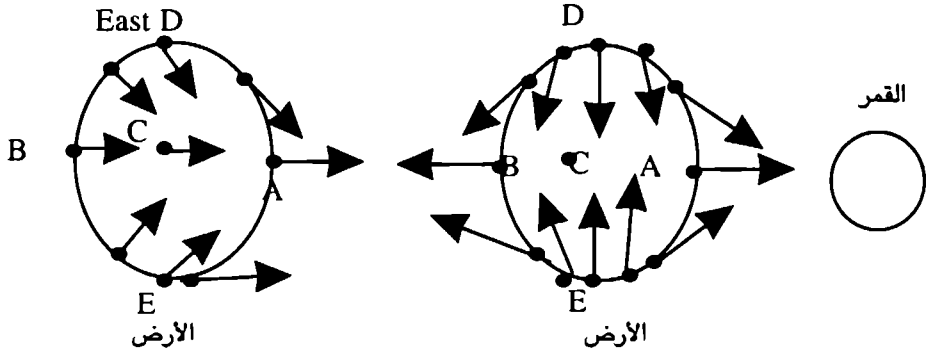
ب) سرعة الإفلات من سطح الكوكب (تناسب طردي) .

ج) كتلة الكوكب (تناسب طردي) لزيادة جاذبيته .

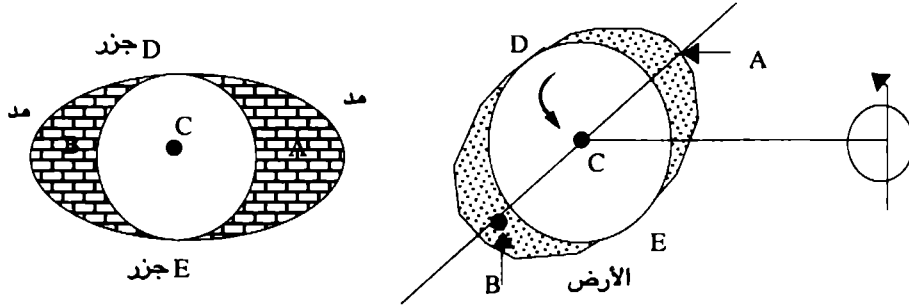
د) نصف قطر الكوكب (حجمه) (تناسب عكسي) تقل جاذبيته .

تطبيقات على تاثيرات الجاذبية بين القمر والأرض (قوى المد والجزر) TIDES.

يُعد القمر المسبب الرئيسي لحدوث المد والجزر في المحيطات والبحار والخلجان حيث تقل قوة جذب القمر للأجسام الأخرى كلما ازداد بعدها عنه . ولو لم يكن القمر والشمس موجودان، لكانت طبقة المياه التي تغطي 75 % من سطح الكرة الأرضية قد كونت طبقة من الماء منتظمة السُمْك عند خط الإستواء .

ولكن لو قدر لك أن تعيش بجانب المناطق البحرية لوجدت أن منسوب المياه يرتفع وينخفض على التوالي مرتين في اليوم الواحد ولتفسير ذلك دعنا نتصور القمر على يمين الأرض كما في الشكل التالي:

فإن الأجزاء من الأرض القريبة من القمر (النقطة)A تتعرض لقوى جذب أكبر من غيرها (C) وهذه أكثر من النقطة (B).

ويمثل طول الأسهم مقدار قوة التجاذب لكل وحدة كتلة موضوعة عند تلك النقاط . ولهذا السبب تنجذب قمة المحيط عند (A)أكبر من قاع المحيط عند (A) فتكون إنبعاج للماء عند النقطة (A) المواجهة للقمر. وكذلك ينجذب قاع المحيط عند النقطة(B) أكثر من قمة المحيط عند (B) فيكون إنبعاج آخر للماء عند النقطة (B) في الجانب المضاد للقمر مباشرة . أي يتكون مدان عند النقطتينB, A .

أما في المنطقة الوسطى بينهما فنلاحظ تكون جَزْرْ حيث تنساب مياه المحيط بتأثير قوى الجذب باتجاه منطقتي المد عند (A , B) وينتج جزران عند النقطتين (E , D) كما في الشكل .

ولما كانت الأرض تدور حول نفسها مرة كل يوم وفي خلال هذه الفترة يكون القمر قد تحرك على مداره نحو الشرق (13°)، يتأخر حدوث المد والجزر حوالي (53) دقيقة عنه في اليوم السابق وبذلك يحدث مدان وجزران كل (24 ساعة و 53 دقيقة) ولذلك يتكرر حدوث المد والجزر كل 12.5ساعة تقريباً .

والفرق بين مستوى الماء عند المد والجزر يختلف باختلاف المكان فقد يصل ما بين 3 - 6 أقدام على شواطيء المحيطات .

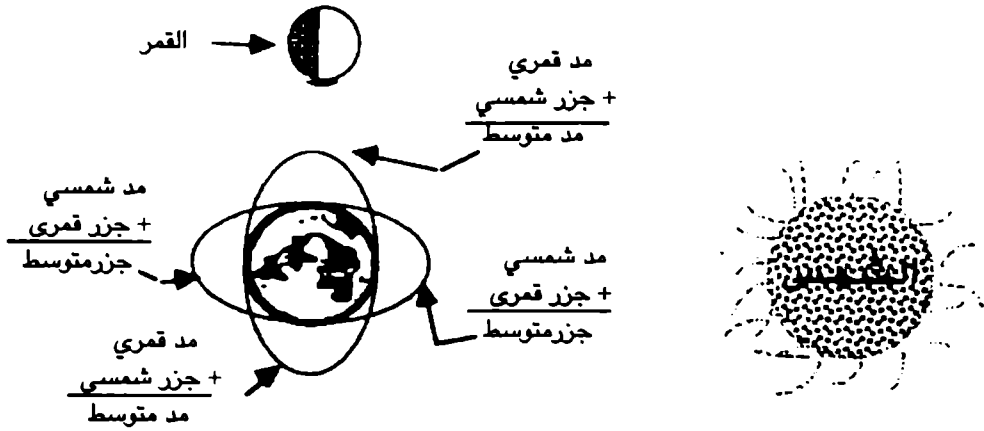
ويلاحظ بأن إنبعاج الماء المصاحب للمد والجزر لا يكون على استقامة الخط الواصل بين مركزي القمر والأرض بل يمتد عليه أو يسبقه قليلاً بسبب دوران الأرض حول محورها من الغرب إلى الشرق وعكس عقارب الساعة بسرعة أكبر من سرعة دوران القمر حول الأرض لذلك فإن الأرض تسحب معها مياه المد نحو الشرق قليلاً كما في الشكل .

ويبلغ تأثير الشمس على المد والجزر على الأرض حوالي نصف تأثير القمر، على الرغم من أن قوة الجاذبية بين الشمس والأرض أكبر منها ما بين القمر والأرض . إلا أنه لبعد الشمس الكبير، فإن قوة جذبها لا يتغير ما بين الجانب المقابل للأرض والجانب المضاد (أي بين نقطتين المسافة بينهما قطر الأرض 12756كم).

حيث يبلغ بعد القمر عن الأرض = 384,000 (كم) ، وبعد الشمس عن الأرض = 150,000,000 كم .

والآن دعنا نوضح حالات المد والجزر المختلفة حسب أوضاع القمر أثناء دورته حول الأرض :

1- فـإذا كـان القـمـر في طور المحـاق أو البـدر، فـفـي هذه الحـالة فـإن جـذب الشـمـس والقـمـر يعمـلانمعـاً لتكوين مـا يـسـمى بالمد العـالي (High Tides)حيث يكون ارتفـاع منسوب المياه أعلى ما يمكن (في مناطق المد) وأخفض ما يمكن في مناطق الجزر كما في الشكل التالي :

2- وعندمـا يكون القمـر في طور التربيع الأول أو التـربيع الأخير حيث يتـعارض جذب الشـمس والقمر لمياه المحيطات، فينتج المد المخفف والجزر المخفف (LOW TIDES) كما في الشكل التالي .

ومن النتائج المترتبة على حدوث المد والجزر هو ضياع طاقة الأرض الحركية الدورانية على شكل حـرارة مـتولدة بسـبب الإحـتكاك الناشـيء مـا بين حـواف القـارات اليـابسـة ومـياه البـحـار والمحيطات حيث تقل طاقتها الدورانية / أي تقل سرعة دورانها حول نفسها، مما يؤدي إلى زيادة طول اليوم على الأرض تدريجياً، بمعدل 0.002 ثانية لكل مئة عام .

وهناك تـأثير آخـر لقوى المد والجـزر الأرضـية على القمـر وهو دوران القـمـرالتزامني حـول الأرض، حيث أنه يـدور حـول الأرض مرة واحدة في نفس الزمن الذي يدور فـيه حـول مـحـوره

الوهمي بحيث يرينا دائماً وجهاً واحداً، وذلك لأن دوران القمر حول نفسه يبطئ تدريجياً مع الزمن، ولمّا كان النظام الثنائي المكون من القمر والأرض له زخماً زاوياً ثابتاً (على اعتبار أن متوسط عزم الدوران TORQUE الخارجي المؤثر عليهما صغير ومهمل)، فإن الزخم الزاوي للأرض ينقص تدريجياً بسبب نقصان السرعة الزاوية لدوران الأرض حول نفسها .

$$(L_E = I_E \varpi_E)$$

ولذلك فإن الزخم الزاوي للقمر يجب أن يزداد حتى يبقى الزخم الزاوي الكلي للنظام الثنائي ثابت وعليه فإن :

$$(L_m = I_m \varpi_m)$$

ولما كانت (ω_m) السرعة الزاوية للقمر تقل تدريجياً، وعلى اعتبار أن القمر نقطة مادية فإن ممتد العطالة للقمر($I_m = m r^2$) يجب أن يزداد، حيث (m) كتلة القمر، و (r^2) مربع بعد القمر عن نقطة مركز الكتلة المشترك للنظام الثنائي . وبناء عليه تستنتج أنه حتى يزداد الزخم الزاوي للقمر(Lm) فلا بد أن يزداد بعد القمر (r) تدريجياً، وهذا معناه أن طول الشهر سيزداد تدريجياً مع الزمن أيضاً .

وأخيراً لا بد من القول أن الأرض كانت تدور أسرع مما هي عليه الآن، وإن طول الشهر كان أقصر مما هو عليه الآن وإن القمر كان أقرب مما هو عليه الآن .

أسئلة وتمارين :

أجب عن الأسئلة التالية :

1- ما مدى مساهمة البابليين في تقدم علم الفلك ؟

2- ما هي إسهامات كل من العلماء التالية في مجال علم الفلك ؟

فيثاغورس، أرسطو، أرستارخوس، إيراتوستثينس، هيبارخوس، بطليموس .

3- ما هي إسهامات العلماء المسلمين في مجال علم الفلك ؟

4- ما هي نظرية كوبرنيكوس الفلكية التي نادى إليها ؟

5- ما هي إسهامات كل من تايكو براهي وغاليليو في مجال علم الفلك ؟

6- اذكر نص قوانين كبلر في حركة الكواكب وأعط مثالاً يوضح ما يعنيه كل منها ؟

7- ارسم مداراً إهليجياً موضحاً أجزاؤه الرئيسية ؟

8- اذكر نص قوانين نيوتن في الحركة وأعط مثالاً تطبيقياً على كل منها ؟

9- اذكر نص قانون الجاذبية العام بصيغته الرياضية ؟

10- ما المقصود بكل من : سرعة الإفلات، المد والجزر ؟

11- كوكب يدور حول الشمس مرة واحدة كل 6 سنوات أرضية، ما هو بعده عن الشمس بالوحدات الفلكية ؟

12- احسب سرعة جزيء من الهيدروجين في الغلاف الجوي للأرض إذا كانت درجة حرارته (20°) مئوية، وثابت بولتزمان $k = 1.38 \times 10^{-23}\ J / K^\circ$، وكتلته $(2 \times 1.67 \times 10^{-27}\ Kg)$. ؟

13- متى يكون المد على الأرض أعلى ما يمكن ؟

14- هل يتغير طول اليوم نتيجة المد والجزر على الأرض ؟

15- لو كان طول اليوم الأرضي 12 ساعة بدلاً من 24 ساعة، فكم مداً وجزراً يحدث في اليوم وقتئذٍ ؟

الفصل الثالث

الطرائق العلمية المستخدمة في الدراسات الفلكية الحديثة .

يستخدم الفلكيون أساليب عديدة ومتطورة لمراقبة ودراسة الأجرام السماوية حيث أدت في النهاية إلى توسيع معلوماتنا ومداركنا عن الكواكب والنجوم والمجرات والفلكي يجب أن يكون ملماً بالعلوم الفيزيائية وخاصة ميكانيكا الحركة وعلم الضوء وغيره، بالإضافة إلى إلمامه بالعلوم الرياضية المختلفة وعلوم التحليل الكيميائي والمهارة الفائقة في تصميم الأجهزة والمعدات الفلكية المختلفة واستخدام الحاسبات الإلكترونية .

ومن الأساليب المستخدمة ما يلي :

3:1 التصوير الفوتوغرافي

وهنا توجه آلات التصوير (كاميرات خاصة منفصلة) ومتصلة بالتلسكوبات المتنوعة نحو الأجرام السماوية وتبقى العدسة مفتوحة عادة لساعات عديدة، فمثلاً يمكن التقاط صور عديدة لمسارات النجوم حول النجم بولاريس (نجم القطب الشمالي) . ولقد تم إكتشاف الكثير من الكويكبات التي تدور حول الشمس بين مداري المريخ والمشتري بواسطة التصوير باستخدام أفلام حساسة .

وعادة يلزم إلتقاط صور للكواكب باستخدام شحات ضوئية (فلترات) للضوء الأحمر، أو الأشعة فوق البنفسجية لمعرفة التضاريس الجبلية أو الغيوم في الأغلفة الجوية على التوالي .

3:2 الدراسات الطيفية للنجوم .

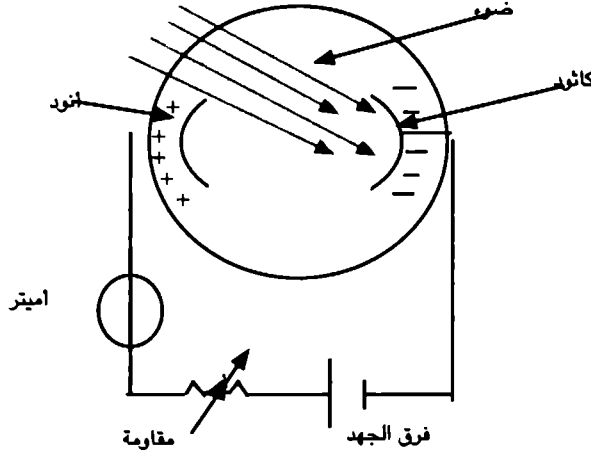
وتعتمد على المعرفة التامة لطبيعة الضوء النجمي فهو الواسطة الوحيدة بيننا وبين النجوم فيكون صورة لها ويحمل تفصيلات تركيبها الكيماوي وحركتها، ودرجة حرارة سطوحها .

ولقد كانت طبيعة الضوء غير معروفة لدى الفلكيين القدماء حتى جاء نيوتن واكتشف عام 1666م أن ضوء الشمس العادي يمكن تحليله إلى عدة ألوان تُكَوِّنْ (قوس قزح) باستخدام منشور زجاجي، وأصبح واضحاً أن للضوء طبيعتان هما :

1) الطبيعة المادية الجيمية للضوء

حيث يتصرف الضوء أحياناً كجسيمات مادية لها زخم خطي P، وتحتوي كل منها على نبضة طاقة محدودة E ودعاها العالم انشتاين بالفوتونات، والدليل على سلوك الفوتونات كجسيمات هي ظاهرة التأثير الكهروضوئية Photo Electric Effect ، حيث يسقط الضوء على لوح موصل، مطلي بمادة معينة (كاثود)، فتصدم الفوتونات مع إلكترونات الذرات لتلك

المادة (كتصادم الجسيمات العادية) تصادماً غير مرن، وتكتسب الإلكترونات طاقة حيث تتحرر من ذراتهاوتندفع بسرعة كبيرة كحزمة إلكترونية باتجاه لوح آخر (آنود) .

حيث ينتج تيار كهربائي تتناسب شدته مع شدة الضوء الساقط كما في الشكل المجاور .

أما طاقة الفوتون فتعطى بالعلاقة :

$$E = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda}$$

حيث E : طاقة الفوتون .

h : ثابت بلانك : = 6.625×10^{-34} جول ثانية .

υ :تردد الضوء الساقط (وتقاس بوحدة سايكل / ثانية) .

C : سرعةالضوء (وتساوي 3×10^{8}م / ث) .

λ :طول موجةالضوء الساقط (وتقاس بالأنجستروم أو وحدة طولية .

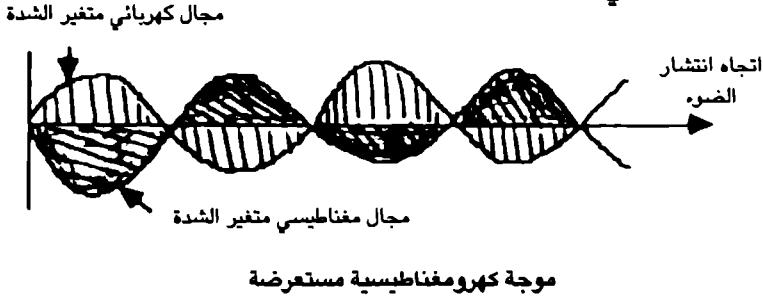
ويعطى الزخم الخطي للفوتونات بالعلاقة :

$$P = \frac{E}{C} = \frac{\text{طاقة الفوتون}}{\text{سرعة الضوء}}$$

ب) الطبيعة الموجية للضوء :

وهنا يتصرف الضوء كموجة مستعرضة حيث يتكون من مجالات كهربئية ومغناطيسية

متناوبة . والمجالان الكهربائي والمغناطيسي متعامدان على بعضهما البعض وعلى اتجاه انتشار الموجة وتنتقل موجات الضوء في الفراغ وليست بحاجة إلى وسط مادي وتسير بخطوط مستقيمة في الوسط المتجانس الواحد بسرعة هائلة 300,000 كم/ ث . وتتميز موجة الضوء بثلاث كميات عادة هي :

موجة كهرومغناطيسية مستعرضة

أ) طول الموجة :

ويرمز لها بالرمز (λ) . وهي تُعبِّر عن المسافة ما بين قيمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين للموجة وتقاس بوحدة صغيرة تدى بالأنجستروم والتي تعادل 10^{-8} سم .

ب) تردد الموجة:

وهي تعبر عن عدد القمم التي تمر على نقطة ثابتة في الفراغ في الثانية الواحدة . ويرمز لها بوحدة (ذبذبة / ثانية) أو هرتز .

ج) سرعة إنتشار الموجة (C)

وهي المسافة المقطوعة في الثانية الواحدة وترتبط هذه الكميات بالعلاقة التالية :

$$C = \lambda \upsilon$$

حيث C : سرعة الموجة = 3×10^{8} م /ث وهي ثابتة لجميع ترددات الضوء المرئي وغير المرئي ولكن تختلف سرعة كل منها عن الأخرى عند مرورها في وسط أكثف من الهواء .

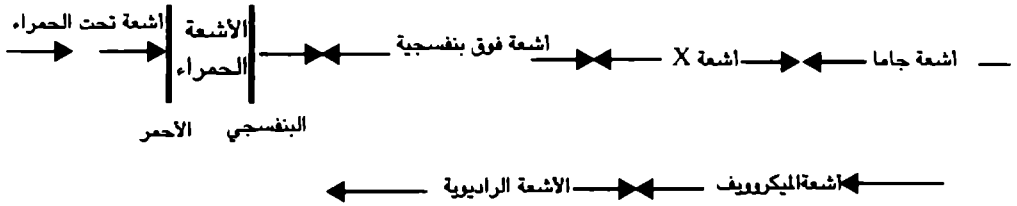
والدليل على تصرف الضوء كموجة هو ظاهرة التداخل الضوئي والحيود الضوئي والاستقطاب .

3:2:1 الطيف الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Spectrum)

تمتد الإشعاعات الكهرومغناطيسية المعروفة في الكون من الأمواج الراديوية (الطويلة الموجة) إلى أمواج أشعة جاما (القصيرة الموجة) ويلاحظ أن الضوء المرئي لا يكون إلا جزءاً

صغيراً من الطيف الكامل للإشعاعات الكهرومغناطيسية المعروفة .

والجدير بالذكر أنها تتشابه في بعض الخواص مثل إنتشارها في الفضاء بنفس سرعة الضوء الثابتة . إلا أنها تتفاعل بدرجات متفاوتة مع المادة . فمثلاً تمرر أجسامنا أشعة إكس ، ولكن لا سمح للضوء المرئي بالمرور من خلال . كما أن عيوننا تستجيب للضوء المرئي ولكن لا تستجيب لأشعة جاما . كما أن جهاز الإستقبال (الراديو) يحدد الأمواج الراديوية ولكن لا يحدد الأشعة الفوق بنفسجية . ولهذا يستخدم الفلكيون لكل نوع من هذه الإشعاعات تلسكوبات خاصة .

ويمكن تمثيل الإشعاعات الكهرومغناطيسية بالرسم التخطيطي التالي :

أما الأطوال الموجية لكل منطقة فهي :

أشعة جاما (10^{-5} ← 0.1) أنجستروم

أشعة إكس (0.1 ← 100) أنجستروم وأشعة فوق بنفسجية (100 - 1000) أنجستروم .

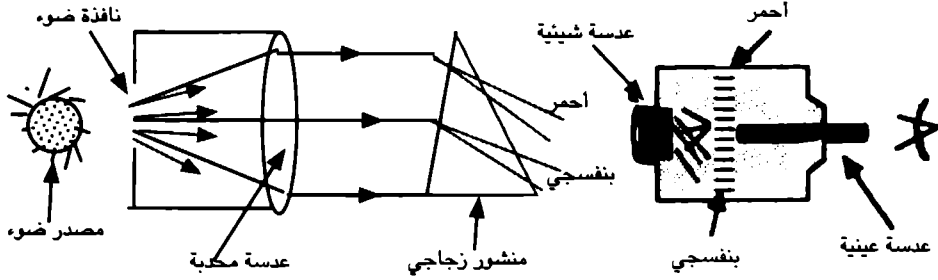
الأشعة المرئية (4000 ← 7000) أنجستروم

أشعة الميكروويف (10cm ← 10cm) .

الأشعة الراديوية (10cm ← 100Km) .

3:2:2 جهاز التحليل الطيفي Spectorscope

إن الوظيفة الرئيسية لهذا الجهاز هو تفريق الحزمة الضوئية القادمة من مصدر ضوئي كالنجم إلى ألوانه الأساسية المختلفة بطريقة مشابهة لما تفعله قطرات الماء في الغيوم لتكوين قوس قزح .

ويتكون هذا الجهاز من منشور زجاجي . أو قد يستعمل محزز الحيود (وهي شريحة زجاجية محفور عليها أخاديد مستقيمة متوازية كثيرة)، وعدسة محدبة وتلسكوب بسيط لرؤية الطيف الناتج .

ويرى في الشكل نافذة صغيرة موضوعة عند بؤرة العدسة المحدبة التي تصحح الضوء المتفرق القادم وتحوله إلى حزمة متوازية ثم يسقط على أحد وجهي المنشور حيث تتفرق إلى الطيف الكامل من الألوان الأساسية وعند خروجه من الوجه الثاني للمنشور، تتباعد الألوان أكثر فأكثر في الهواء . ثم تسقط على التلسكوب حيث كل شعاع قد تفرق إلى طيف كامل فتقوم العدسة الشيئية بتجميع كل المركبات الحمراء للضوء إلى مكان معين وكل المركبات البنفسجية للضوء إلى مكان آخر . وعندما ننظر من خلال العدسة العينية يرى المشاهد الطيف الكامل للألوان من الأحمر إلى البنفسجي . ويكون هذا الطيف هو صورة للنافذة الصغيرة، كل صورة تتكون من ضوء له نفس الطول الموجي .

3:2:3 أنواع الأطياف المرئية Kinds of visual Spectra

يوجد أنواع عديدة من الأطياف : المستمرة والخطية الساطعة، والخطية المظلمة، والتي يمكن تفسيرها حسب نظرية بوهر الذرية حيث تظهر الخطوط الطيفية الإنبعاثية الساطعة عند انتقال الإلكترونات الذرية من مدار ذو طاقة عالية إلى مدار آخر ذو طاقة متدنية . بحيث تكون طاقة الفوتون المنبعث تساوي الفرق بين طاقتي المدارين . أما الخطوط الطيفية الإمتصاصية المظلمة فتنتج عند انتقال الإلكترونات الذرية من مدار ذو طاقة متدنية إلى مدار جديد ذو طاقة عالية نتيجة امتصاص الذرة لفوتون ضوئي ذو طاقة تساوي الفرق بين طاقتي لمدارين .

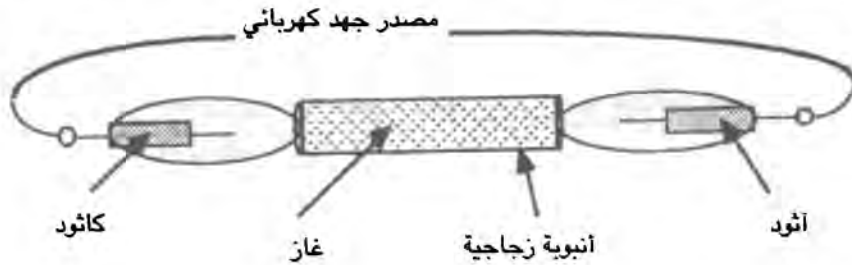
أ) **الطيف المستمر** (Continuous spectrum)

ويظهر كمجموعة من المناطق المضيئة بألوان مختلفة من الأحمر إلى البنفسجي ومتصلة ببعضها البعض مثل ألوان قوس قزح في السماء .

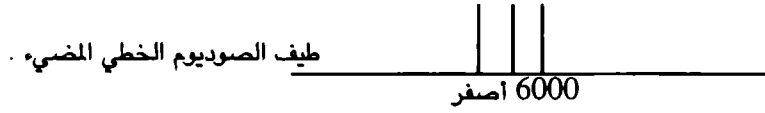
ويمكن أن تنتج هذه الأطياف المستمرة بتسخين المادة الصلبة أو السائلة أو الغاز الكثيف

لدرجة حرارة عالية (بضعة آلاف من الدرجات) والواقع تحت ضغط كبير، فمثلاً الطيف المستمر الناتج عن فتيل مصباح كهربائي يكون على الشكل التالي :

ب) الطيف الخطي الساطع Bright - line Spectrum

وينتج هذا النوع بأن نملأ أنبوباً زجاجياً بالغاز عند ضغط منخفض (بضعة ملمترات من الزئبق) حيث يكون فرق الجهد بين طرفي أنبوبة التفريغ الكهربائي (بضعة آلاف من الفولتات) وعندها فإن الغاز الساخن يبعث ضوءاً يظهر عند مروره بجهاز التحليل الطيفي على شكل خطوط مضيئة متوازية متباعدة على خلفية معتمة ويعتمد شكل الخطوط على شكل النافذة المستخدمة .

ويمكن إنتاج أطياف خطية ساطعة لأي عنصر بوضع ملح متطاير لذلك العنصر على لهب قوي، فبالنسبة لملح الطعام (كلوريد الصوديوم) عند حرقه على» لهب بنسن ينتج خط ضوئي أصفر على خلفية معتمة . وهو في الواقع مكون من خطين متباعدين في منطقة الأصفر .

والجدير بالذكر أن كل عنصر يعطي دائماً نفس التوزيع من الخطوط المضيئة، والذي يختص به لوحده ولا يشاركه به أي عنصر كيماوي آخر . وتستخدم هذه الحقيقة في التحليل الكيميائي للمواد .

طيف الصوديوم الخطي المضيء .

ج) الطيف الخطي المظلم (الطيف الخطي الإمتصاصي) Dark - line Spectrum

وينتج عن امتصاص الفوتونات الضوئية (بأطوال موجية محددة) بواسطة غازات باردة نسبياً، وعند ضغط منخفض وعادة تكون الأطوال الموجية الممتصة هي نفسها التي تبعثها نفس الغازات عندما تتهيج بطريقة مناسبة .

فعند تعريض ضوء الشمس العادي (ذو الطيف المستمر) إلى بخار الصوديوم البارد نسبياً (الذي درجة حرارته اقل من حرارة سطح الشمس) فإن ذرات الصوديوم تمتص الفوتونات الضوئية المناسبة $(\lambda 2 = 5890A^{\circ} , \lambda 1 = 5896 A^{\circ})$ من الطيف المستمر للشمس .

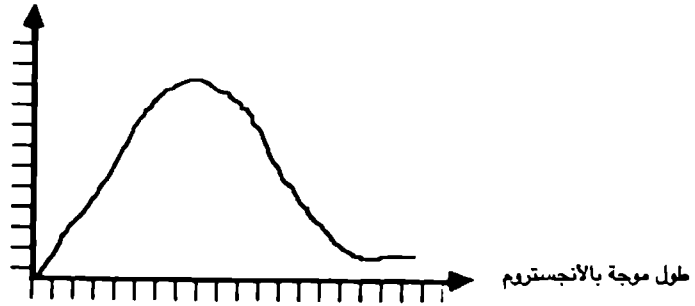
ويظهر طيف الشمس عندها على شكل طيف متصل ومركب عليه خطان مظلمان في منطقة اللون الأصفر ولقد بذل العالمان فرانهوفر (1814) م وكيرشوف (1859) م جهوداً كبيرة لمعرفة أصل هذه الخطوط وتفسيرها .

3:2:4 الاطياف النجمية

وهي من نوع الطيف المتصل الذي يتولد على السطح النجمي يتخلله عشرات الخطوط المظلمة والناتجة عن وجود النجم الخارجي البارد نسبياً . وبعض هذه الخطوط المظلمة ناتجة عن الهيدورجين والأخرى ناتجة عن الهيليوم وبعضها عن العناصر الأخرى . ومن خلال دراسة هذه الخطوط يمكن تحديد التركيب الكيماوي للنجوم . والمعروف أن عدد العناصر الكيماوية حوالي (92) عنصراً طيفياً .

وتدل درجات السطوع النسبية لهذه الخطوط على نسبة وجود هذه العناصر في جو النجم، ومن غير المحتمل أن يكون التركيب الكيماوي لباطن النجم هو نفسه للجو الخارجي .

3:2:5 انواع اطياف الطاقة الإشعاعية

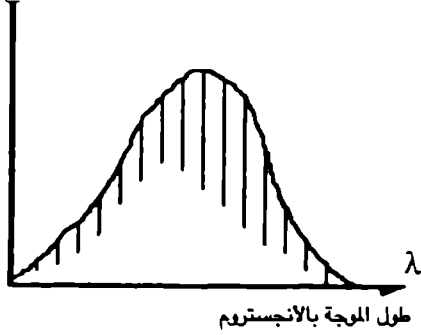
في بعض الدراسات الفلكية مثل تعيين درجة حرارة سطح النجم ليس من المهم أن نعلم الأطوال الموجية التي تظهر في الطيف النجمي، بل وما هي مقدار الطاقة التي يحملها كل طول موجي . ولذلك يرسم أحياناً منحنى الإشعاع للطاقة وهو علاقة بيانية بين كمية الطاقة أو شدتها التي يشعها النجم (الجسم الساخن) عند كل طول موجي وهو كما يظهر في الشكل التالي منحنى متصل وله قيمة عظمى عند طول موجي معين .

ويقوم العلماء بالحصول عليه، وذلك بتكوين طيف النجم الساخن على شاشة أولاً ثم يحول الضوء (Light) عند كل طول موجي إلى طاقة حرارية (Heat Enargy) .

حيث يسقط الضوء على مادة جيدة الامتصاص للضوء (الجسم الأسود) وتقاس كمية الحرارة الناتجة عند كل طول موجي وعندها يرسم المنحنى .

ويجب ملاحظة أن الطاقة صغيرة عند كل من الأطوال الموجية القصيرة (اشعة إكس) والأطوال الموجية الكبيرة (الأمواج الراديوية) . ويجب الملاحظة أنه إذا كان الجسم الساخن المشع للضوء عند درجة حرارة أعلى فيحدث تغيرات على المنحنى منها:

أ) المساحة تحت المنحنى تزداد . أي أنه تزداد كمية الطاقة المنبعثة عند كل طول موجي.

ب) تنزاح قمة المنحنى نحو الأطوال الموجية القصيرة .

ويبين الشكل التالي منحنى الطاقة لنجم عادي حيث يبدو المنحنى المتصل وقد حذف منه خطوط عديدة نتيجة إمتصاص بعض الأطوال الموجية الضوئية بواسطة الغازات الباردة نسبياً في غلافه الجوي وقد يدعى هذا المنحنى الإشعاعي للطاقة أحياناً بمنحنى بلانك، العالم

الفيزيائي الذي أمضى سنوات عديدة في دراسة إشعاع الأجسام الساخنة ووضع تصوراً نظرياً على شكل قانون يصف شكل هذا المنحنى وتعطى دالة بلانك كما يلي :

$$B = \frac{2\,hc^2}{\lambda^5} \times \frac{1}{(e^{hc/\lambda kT} - 1)}$$

حيث (B) تعبر عن شدة السطوع الضوئي . و (h) ثابت بلانك وقيمته $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J . sec .

و (c) سرعة الضوء وقيمته $C = 3 \times 10^{8}$ m/sec .

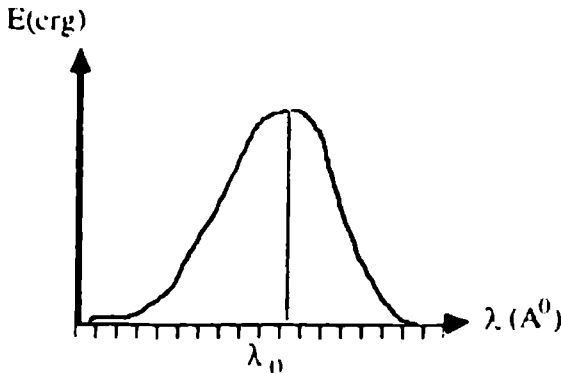
و (k) ثابت ستيفان بولتزمان وقيمته $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J /deg .

و(λ) الطول الموجي المقاس بالمتر .

و (T) درجة حرارة الجسم بالنظام المطلق (كلفن) .

و (e) قاعدة اللوغاريتم الطبيعي وقيمته (e = 2.78) .

3-2-6 **قانون فين** (1864 - 1928)

وينص (على أن الطول الموجي الذي تكون عنده انبعاث الطاقة أكبر ما يمكن يتناسب عكسياً مع درجة حرارة الجسم المطلقة).

وكلما ارتفعت درجة حرارة الجسم كلما صغرت قيمة الطول الموجي λ_0 وبصيغة رياضية يمكن كتابة قانون فين على الشكل التالي :

$$T = \frac{289 \times 10^{5}}{\lambda_0}$$

حيث تدل (λ_0) على الطول الموجي بالأنجستروم المقابلة لقمة الطاقة الإشعاعية . وتدل (T) على درجة حرارة سطح الجسم أو (درجة حرارة الجسم الأسود) .كما ويفسر هذا القانون ألوان النجوم المختلفة حسب درجة حرارة سطوحها . حيث يشع النجم الساخن معظم إشعاعاته عند الأطوال الموجية القصيرة فيبدو لونه الظاهر لنا (أزرق) فيما تبعث النجوم الباردة نسبياً معظم طاقاتها الإشعاعية عند الأطوال الموجية الكبيرة ولهذا تظهر لنا هذه النجوم (حمراء) . أما الشمس فهي وسط في درجة حرارتها ويظهر لونها (أصفر) .

3:2:7 قانون ستيفان (قانون ستيفان - بولتزمان)

يبحث هذا القانون في خاصية أخرى للأجسام المتوهجة الساخنة والتي تتعلق بالطاقة الضوئية الكلية المنبعثة من الجسم الساخن على مختلف الأطوال الموجية وعلاقة هذه الطاقة الكلية بدرجة حرارة الجسم .

وينص القانون (على أن الطاقة الكلية المنبعثة من وحدة المساحة لسطح الجسم تتناسب مع القوة الرابعة لدرجة حرارته) ، وتدعى أحياناً بالسطوع السطحي للجسم الساخن .

أما الطاقة الكلية المنبعثة من الجسم كله تعتمد قطعاً على مساحة سطح الجسم، فإذا كان الجسم كروياً (مثل بعض النجوم) حيث مساحة سطحها ($4\pi R^2$) و (R) يعبر عن نصف قطر النجم، عندها تحسب الطاقة الكلية الضوئية من الجسم في الثانية الواحدة بواسطة القانون التالي :

$$E_{tot} = \sigma T^4 (4\pi R^2)$$

حيث : σ ثابت ستيفان وقيمته $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \dfrac{J}{K^4 m^2 sec}$

T: درجة حرارة الجسم المطلقة .

R: نصف قطر النجم بالأمتار .

وتدعى هذه الكمية من الطاقة الكلية الصادرة عن الجسم الساخن في الثانية الواحدة بنورانية النجم (L) وهي للشمس .

$$L_\Theta = 3.8 \times 10^{33} \text{ erg / s}$$

3:2:8 السطوع النجمي

وهو يعبر عن شدة الإشعاع الواصل إلينا على الأرض . ويعتمد سطوع النجوم الظاهري على عدة عوامل منها :

أ- درجة حرارة سطح النجم :

فكلما إزدادت درجة حرارته إزداد سطوعه (أي الطاقة الكلية المنبعثة منه على مختلف الأطوال لموجية) .

ب- بعد النجم عنا :

فكلما كان النجم بعيداً كلما نقص سطوعه وكلما كان قريباً منا، إزداد سطوعه ولا غرابة في ذلك فإن الضوء أثناء إنتشاره في الفضاء يتبع قانون التربيع العكسي .

أي أن شدة السطوع النجمي (B) تتناسب عكسياً مع مربع بعد النجم عنا على الأرض .

$$\left(B \alpha \frac{1}{r^2} \right)$$

ج- مساحة سطح النجم الخارجي :

طبيعي كلما ازداد حجم النجم أو نصف قطره إزدادت مساحة سطحه الخارجية، وازدادت كمية الطاقة الكلية المنبعثة منه على مختلف الأطوال الموجية .

أي أن السطوع النجمي يعتمد على نورانية النجم L (طردياً) وعلى مربع بعد النجم عنا (عكسياً) .

$$B = \frac{L}{r^2} = \frac{(\sigma T^4 \ 4\pi R^2)}{r^2}$$

حيث

(B) : تدل على السطوع النجمي Stellar Brightness .

(L) : النورانية النجمية (ارج / ثانية)

(r) : بعد النجم عنا على الأرض .

(T) : درجة حرارة سطح النجم .

(R) : نصف قطر النجم .

3:2:9 ظاهرة دوبلر (Doppler Effect).

لا شك بأن تحليل الخطوط الطيفية الإمتصاصية للنجوم والكواكب يزودنا بمعلومات قيمة عن تركيبها الكيماوي ودرجة حرارة سطوحها ولكن أيضاً وجد أن بالإمكان معرفة سرعة إقتراب النجوم أو ابتعادها عنا . فعندما يقترب مصدر الصوت (سيارة إسعاف) مثلاً من مراقب ما . فإن شدة الصوت في أذن السامع تزاد تدريجياً مع إقتراب السيارة منه، وتنقص شدة الصوت في أذن السامع عند إبتعاد السامع عنه ولمّا كانت شدة الصوت تعتمد بالأساس على تردد الموجات الصوتية، فكلما كان التردد عالياً كلما كانت شدة الصوت أكبر، (حالة اقتراب السيارة) أي أن طول موجات الصوت كانت تنقص تدريجياً عندما كانت السيارة مقتربة لأن سرعة الصوت في الهواء ثابتة . وعند إبتعاد مصدر الصوت عن السامع فإن شدة الصوت تنقص بسبب نقصان تردد الموجات الصوتية وبذلك فإن أطوال الأمواج الصوتية كانت تزداد تدريجياً عندما كانت السيارة مبتعدة عنه . وبالمثل يحدث للموجات الضوئية القادمة من نجم مقترب منا على الأرض حيث تقل أطواله الموجية عما كانت عليه فيما لو كان مصدر الضوء ساكناً . ويدعى التغير في الأطوال الموجية لخطوط الطيف النجمي (بالإنزياح نحو الأزرق (Blue Shift) .

ويعتمد نقصان الأطوال الموجية في هذه الحالة على معدل اقتراب مصدر الضوء من المراقب . وفي حالة إبتعاد مصدر الضوء (النجم) عنا على الأرض فإن الخطوط الطيفية للنجم تنزاح نحو إبتعاد الأطوال الموجية الأكبر منها فيما لو كان النجم ساكناً . ويقال للضوء الطيفي بأنه مزاح نحو الأحمر (RED SHIFT) . ولقد وضع العالم دوبلر صيغة رياضية لهذا الإنزياح الطيفي وعلاقته بمعدل اقتراب أو إبتعاد النجم .

$$V_r = \frac{\lambda\Delta}{\lambda_0}C = \frac{(\lambda_m - \lambda_0)}{\lambda_0}C$$

حيث :

(V_r) : تدل على السرعة النسبية بين مصدر الضوء والمراقب على الأض .

(C) : سرعة الضوء .

λ_m : طول موجة أحد الخطوط الطيفية للنجم المقاسة على الأرض .

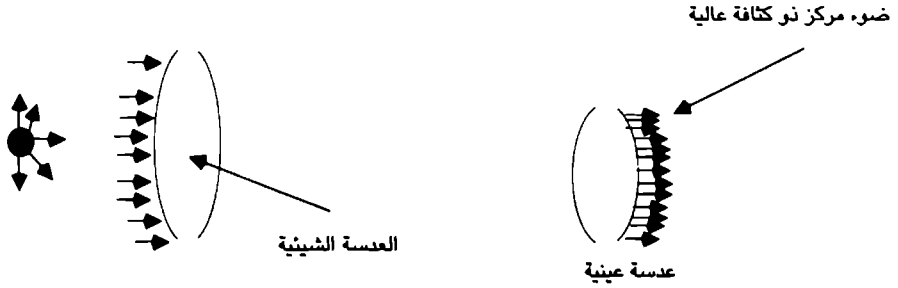
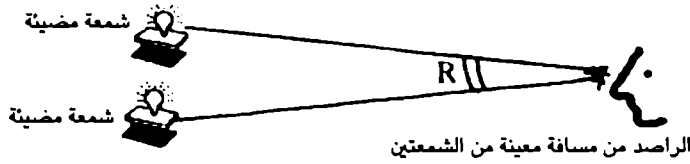
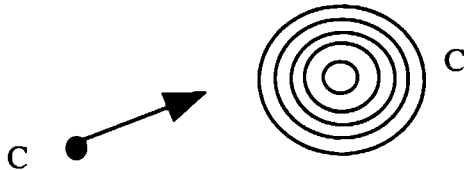
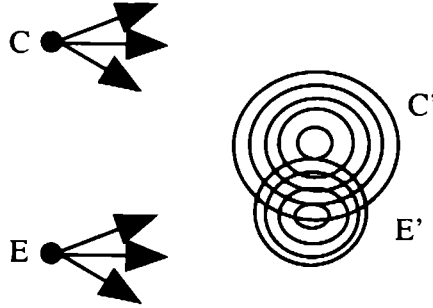
λ_0 : طول موجة نفس الخط الطيفي للنجم فيما لو كان ساكناً ويحدد هذا الخط لعنصر كيماوي موجود في النجم، كالحديد مثلاً حيث تحصل على طيف له في المختبر، ويقارن الطيفان معاً لمعرفة انزياح الخط الطيفي .

3:3 استخدام التلسكوبات على الأرض وفي الفضاء في الدراسات الفلكية

تُعد الأمواج الكهرومغناطيسية بجميع أطوالها الموجية الصادرة عن النجوم والمجرات والكواكب والسدم الغازية المنتشرة في فضاء ما بين النجوم مهمة جداً للفلكيين لاحتوائها على معلومات حول ماهية هذه المصادر، وأماكن وجودها وتوزيعها في الكون. ولذلك قام العلماء ببناء تلسكوبات متعددة الأغراض تتناسب ومناطق الطيف الكهرومغناطيسي . فهناك التلسكوبات البصرية لدراسة الضوء المرئي من النجوم والأشعة المنعكسة عن الكواكب . وهناك التلسكوبات الراديوية الضخمة على الأرض . أما في الفضاء فقاموا ببناء محطات فضائية تدور في مدارات حول الأرض لدراسة الإشعاعات الغير مرئية . وكثيراً ما يواجه العلماء الباحثين صعوبات تتمثل في حركة التيارات الهوائية في الغلاف الجوي الأرضي، وامتصاص بخار الماء الموجود في الجو لجزء من الأشعة تحت الحمراء، أو تلوث الجو بالدخان والغبار، وحتى أن حركة الأرض حول نفسها، تؤثر على التلسكوب الأرضي المرتكز عليها فتجعله يدور معها وبذلك يتغير اتجاه التلسكوب عن مكان النجم المرصود في الفضاء فلا يعود النجم في مجال الرؤيا؛ وللتغلب على هذه المشكلة، يتم توصيل التلسكوب بماتور كهربائي يعمل على إدارة التلسكوب حركة دورانية معاكسة لدوران الارض حول نفسها وبنفس سرعة دورانها إضافة إلى أن التلسكوبات نفسها والأجهزة الأخرى المستخدمة تسبب إنبعاث إشعاعات تتداخل مع الموجات الكهرومغناطيسية المرصودة . ومع هذا فإن العلماء قد طوّروا الأجهزة التلسكوبية لدرجة أنها أصبحت أهم أداة في أيديهم لدراسة الكون وبناء نظريات علمية صحيحة حول نشأته وتطوره .

3:3:1 الوظائف الرئيسية للتلسكوبات

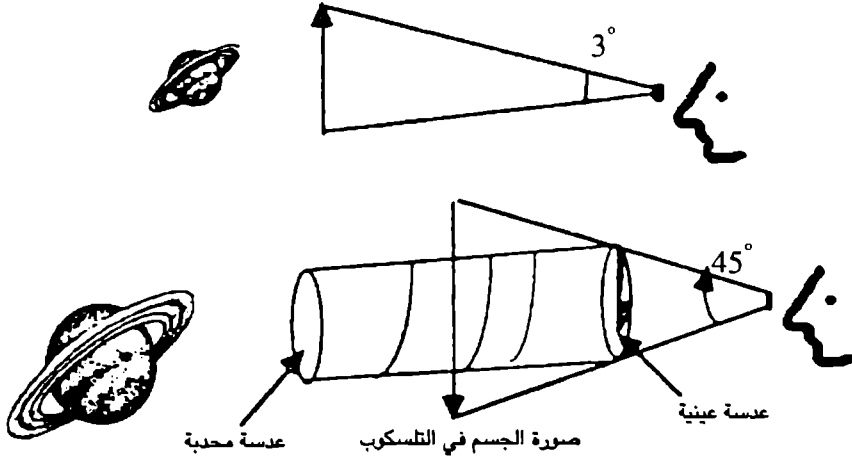
تقوم التلسكوبات بثلاث وظائف رئيسية وهي :

أ) زيادة السطوع الظاهري للأجرام السماوية . وتعتمد هذه الزيادة في سطوعها على القدرة الكبيرة لهذه التلسكوبات على تجميع الضوء النجمي بواسطة استخدام العدسة الشيئية ومن ثم تركيزه في حزمة ضيقة إلى إنسان العين للمشاهد من خلال العدسة العينية . حيث ينتج زيادة في سطوع الجسم المرئي . ولقد تمكن العلماء من رؤية نجوم خافتة الإضاءة ومستحيلة الرؤيا بالعين المجردة وتعتمد قدرة التلسكوب على تجميع الضوء على مساحة العدسة الشيئية (πR^2) (انظر الشكل التالي) :

ب) زيادة قوة التحليل (Resolving power) ووضوح التفاصيل الصغيرة في الجرم المرئي والتي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة . ويزداد وضوح الصورة كلما ازدادت قوة التحليل للتلكسوب . ولتوضيح ذلك، دعنا ننظر إلى شمعتين قريبتين من بعضهما (بضعة سنتمترات من على بعد بضعة أمتار فسوف يشاهد مصدرين ضوئيين متباعدين، وعند النظر إليهما من مسافة أبعد، فسوف نشاهد مصدر ضوئي غير واضح المعالم .

وتدل النتائج التجريبية على أنه لا يمكن تمييزهما كمصدرين ضوئيين إذا كانت الزاوية المتكونة من الخطين الشعاعيين الصادرين عنهما عند العين أقل من ('6) (ست دقائق قوسية) ولذلك يقال أن قوة التحليل للعين البشرية هي ست دقائق قوسية ('R = 6) . وتعود عدم المقدرة على الفصل بين النقاط المضيئة المتقاربة جداِ من بعضها والتي تصنع زاوية أقل من ('6) إلى خاصية أساسية للضوء هي الحيود الضوئي . حيث تظهر كل نقطة ضوئية في الجسم (C) على شكل قرص صغير له تركيب معقد على شبكية العين البشرية، حيث يتكون القرص من حلقة مركزية صغيرة ساطعة جداً تحتوي على 85 % من الأشعة القادمة ومحاطة بحلقات مظلمة ومضيئة ويقل سطوع هذه الحلقات تدريجياً إلى أن تصل إلى حافة القرص كما في الشكل التالي :

فإذا كانت هناك نقطة مضيئة ثانية (E) قريبة من النقطة الأولى بأقل من ('6) فإن القرص المتكون ('E) سيتداخل مع القرص ('C) . وعندها لا يستطيع العقل أن يميز بين النقطتين (C) , (E) وسيرى النقطتين على شكل نقطة واحدة ممتدة قليلاً . (انظر الشكل التالي) .

وتدل النظرية البصرية على أنه كلما كانت العدسة الشيئية أكبر قطراً كلما كان القرص الضوئي الناتج أصغر قطراً وعليه يسهل التمييز بين النقاط الضوئية المتقاربة ومن ناحية عملية تعتمد قوة تحليل التلسكوب على قطر عدسته الشيئية وتستعمل الصيغة التالية لحساب قوة التحليل للتلسكوب :

قوة التحليل للتلسكوب $(R) = \frac{11.6}{D}$

حيث D تمثل قطر العدسة الشيئية وتقاس بالسنتمترات، ويمثل (R) قوة التحليل (بالراديان) حيث تحول إلى وحدات زاوية، وكلما كانت قيمة (R) صغيرة كلما كانت قوته التحليلية أكبر بين الجسيمات المتقاربة .

جـ) زيادة قوة التكبير الزاوي للأجرام السماوية Angular Magnification فإذا كان الجسم يصنع عند العين زاوية مقدارها (3°)، وأصبحت صورة الجسم النهائية في التلسكوب تصنع زاوية مقدارها (45°) فإن قدرة التلسكوب على التكبير الزاوي هو $\frac{45^\circ}{3^\circ} = 15$ مرة

إن زيادة الزاوية المتكونة عند العين من نهايتي الجسم تعطي انطباعاً للمشاهد بقرب الصورة من العين أكثر مما كان عليه الجسم في الأصل كما في الشكل التالي :

وتعتمد قدرة التلسكوب على التكبير الزاوي للأجرام السماوية على كل من البعد البؤري للعدسة الشيئية والعينية ويحسب التكبير الزاوي للتلسكوب بالعلاقة التالية :

$$\text{قوة التكبير الزاوي} = \frac{\text{البعد البؤري للعدسة الشيئية}}{\text{البعد البؤري للعدسة العينية}} = \frac{f\ \text{objective}}{f\ \text{eyepiece}}$$

وتظهر الصورة في معظم التلسكوبات مقلوبة، وتتكون صور النجوم كنقط مضيئة مهما كانت قوة التكبير وهناك عيوب عديدة لزيادة التكبير منها : أن وضوح الصورة يقل، كماأنه يؤدي إلى نقصان السطوع في الصورة الناتجة حيث تتوزع نفس كمية الضوء على مساحة أكبر وتكون النتيجة خفوت لمعان الصورة أكثر، كما أنه يؤدي إلى تقليل مجال الرؤية في السماء ويعطى مجال الرؤية الحقيقي بالعلاقة التالية :

$$\text{مجال الرؤية الحقيقي للتلسكوب} = \frac{\text{مجال الرؤية الظاهري للعدسة العينية}}{\text{قوة التكبير}}$$

كما وتؤدي الزيادة في التكبير إلى زيادة التألق النجمي والتألق النجمي هو في الواقع تغيرات سريعة تطرأ على السطوع الظاهري للنجم وعلى ألوانه مصحوبة بإزاحات طفيفة لموقع النجم الظاهري، وهذه التأثيرات ناتجة عن حركة الضوء في طبقات الغلاف الجوي الأرضي وتزداد هذه التأثيرات في التلسكوبات الكبيرة .

ولهذه الأسباب مجتمعة هناك حدود عليا للتكبير يجب عدم تجاوزها ويعطى الحد الأعلى للتكبير بالعلاقة التالية :

الحد الأعلى للتكبير = قطر العدسة الشيئية (بالبوصات) × 50

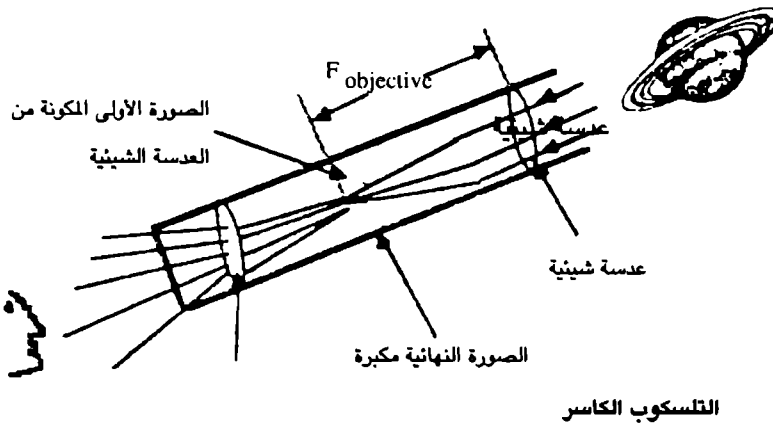
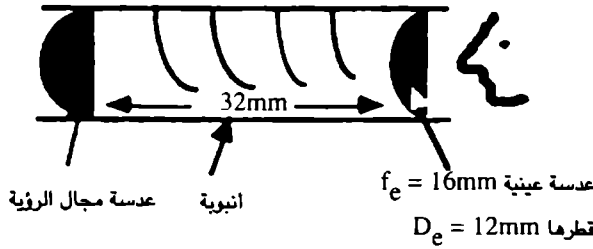
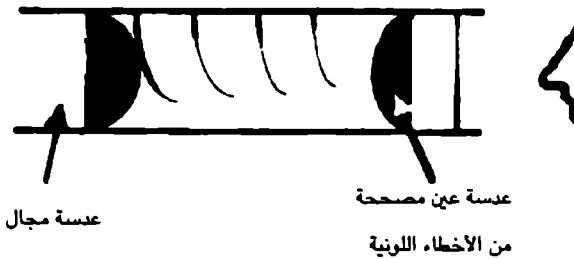
3:3:2 انواع التلسكوبات الفلكية

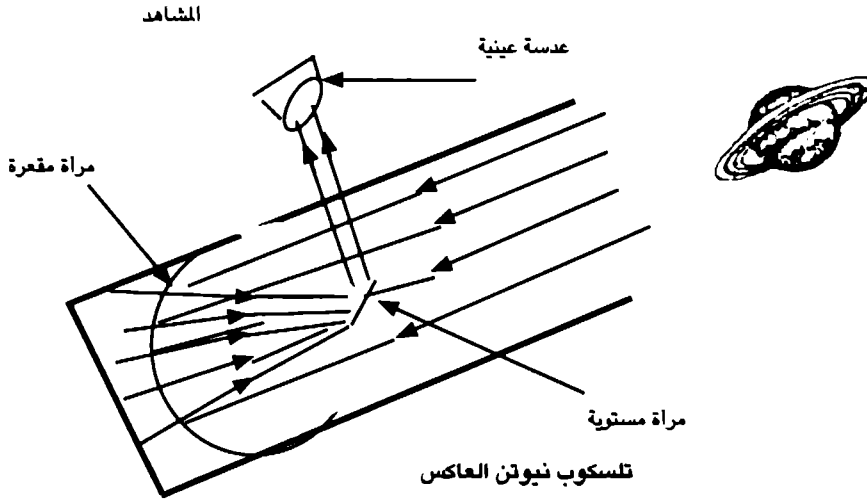
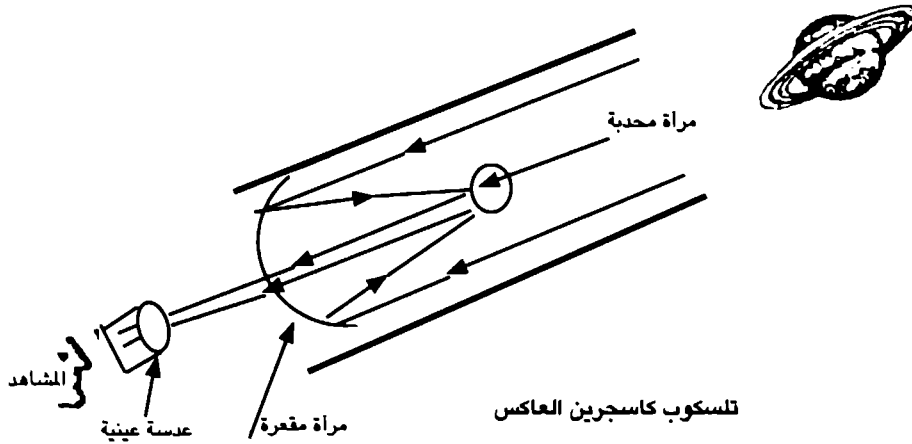
3:3:2:1 التلسكوبات البصرية Optical Telescopes

وهناك نوعان مميزان :

1) التلسكوب الكاسر (Refracting Telescope)

ومن الأمثلة عليه تلسكوب غاليليو، ويتكون من أنبوبة طويلة في مقدمتها عدسة محدبة تستقبل حزمة الأشعة الضوئية المرئية المتوازية الصادرة عن النجم البعيد، تدعى (العدسة الشيئية objective lense) وتجمعها في نقطة واحدة تدعى بؤرة العدسة . وعلى بعد (f) من العدسة حيث يتكون صورة النجم أو الكوكب وللنظر إلى الصورة المتكونة يستخدم عدسة عينية (eye piece) توضع في نهاية التلسكوب أمام العين مباشرة، لتكوين صور مكبره للجسم . والعدسة العينية ذات بعد بؤري صغير نسبياً، وتتألف عادة من عدستين أحدهما تدعى بعدسة مجال الرؤيا والأخرى التي توضع أمام العين مباشرة (بالعدسة العينية) وتثبت العدستان بشكل دائم في أنبوبة منفصلة يمكن انزلاقها للأمام أو إلى الخلف داخل الأنبوبة الرئيسية للتلسكوب . وتقوم عدسة المجال بتجميع الضوء من العدسة الشيئية وتوجيهه إلى عدسة العين الصغيرة حيث تقوم الأخيرة بتكبير الصورة النهائية .

التلسكوب الكاسر

والعدسات العينية أنواع مختلفة (معقدة التركيب) فمنها ما يتكون من عدستان (كل منهما محدبة مستوية Plano Convex) ، يبعدان عن بعضهما حوالي بوصة واحدة، بحيث يكون الوجه المستوى لكل منهما باتجاه عين المشاهد كما في نظام هايجن للعدسة العينية الموضح في الشكل التالي .

ويستخدم هذا النوع لقوة تكبير منخفضة بسبب العيوب البصرية الأخرى التي يصعب تصحيحها . ومنها ما يدعى بنظام كلنر العيني ويتكون من عدسة مجال الرؤية (محدبة مستوية) بحيث يكون السطح المستوي مواجه للنجم وعدسة عين صغيرة القطر من النوع التي تخلو من الأخطاء اللونية Achromatic Eye Lense . (انظرالشكل التالي) :

ب) التلسكوب العاكس Reflecting telescope

ومن الأمثلة عليه تلسكوب نيوتن ويتكون من أنبوبة طويلة في نهايتها مرآة مقعرة حيث يسقط الضوء الصادر عن النجم كحزمة متوازية من الأشعة على المرآة فتجمعه مكونة صورة للنجم في نقطة (بؤرتها) داخل أنبوبة التلسكوب . وحتى نتمكن من رؤية الصورة دون التدخل في طريق الأشعة استخدم نيوتن مرآة مستوية صغيرة مائلة بزاوية (45^0) قبل نقطة تجمع الأشعة بقليل ولتعكس الحزمة إلى نقطة جانبية خارج أنبوبة التلسكوب، حيث يمكن النظر إليها باستعمال عدسة عينية مناسبة . (انظر الشكل المرافق) .

وهناك نماذج أخرى منها تلسكوب كاسجرين (Cassegrain) حيث تستخدم مرآة محدبة صغيرة توضع في بؤرة المرآة المقعرة فتعمل على إنعكاس الحزمة الضوئية خارج التلسكوب من خلال ثقب في مركز المرآة المقعرة كما في الشكل التالي .

هذا ويُعد التلسكوب الكاسر أول ما اخترع من التلسكوبات وما زال يستعمل حتى الآن في مجالات بحثية متعددة، ومن ناحية أخرى ازدادت شعبية التلسكوبات العاكسة واستخداماتها بين الباحثين هي هذه الأيام، على الرغم أنه لا يوجد اختلاف رئيسي بينها من ناحية قوة

تجميع الضوء، أو قوة التحليل أو قوة التكبير أو طريقة تثبيت التلسكوب على الأرض . ومع ذلك فلكل مساوىء وفوائد نذكر منها :

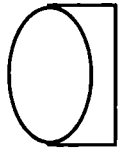
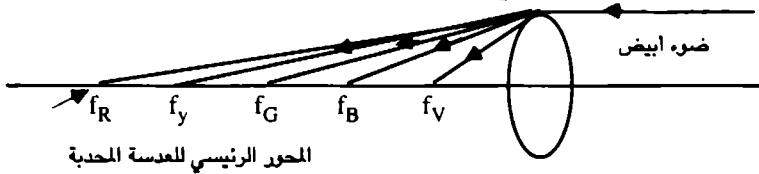
1- سهولة صنع التلسكوب العاكس . حيث نحتاج إلى صقل سطح واحد فقط من المرآة المقعرة حيث ينعكس الضوء ولا يشترط في زجاج المرآة الجودة التامة بينما في التلسكوب الكاسر حيث يمر الضوء من زجاج العدسة الشيئية يجب صقل وجهيّ العدسة تماماً ويجب أن يكون متجانساً، خالياً من الفقاعات والخدوش على سطحها .

2- القابلية للتلف أثناء الاستعمال تكون صغيرة بالنسبة للتلسكوب الكاسر بسبب تثبيت العدسات من الجهتين، بينما المرآه في التلسكوب العاكس تثبت من جهة واحدة وكذلك يلزم العناية بها باستمرار عند تغيير اتجاه التلسكوب من زاوية ميل لأخرى .

3- التلسكوب العاكس رخيص التكاليف (فأنبوبته أقصر) مقارنه بالتلسكوب الكاسر .

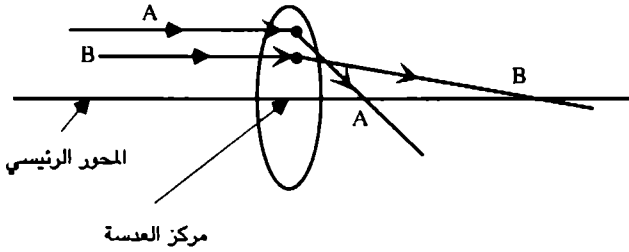
4- يخلو التلسكوب العاكس من العيوب اللونية (Chromatic Aberration) التي تختص بها العدسات جميعها والموجودة في التلسكوبات الكاسرة . ويحتوي كل منها على العيوب الكروية (Spherical Aberration) وإليك شرحاً موجزاً عن كل هذه العيوب .

العيوب اللونية

عند سقوط الضوء على العدسات ينكسر الضوء بدرجات متفاوتة يتوقف على طول موجة الضوء الساقط . ففي حالة سقوط ضوء أبيض على عدسة لامة (محدبة) يتحلل الضوء إلى مكوناته الأصلية ويتجمع الضوء البنفسجي في نقطة قريبة من العدسة . ثم يليه اللون الأزرق ... ثم يليه اللون الأحمر فإذا نظرنا بواسطة عدسة عينية عند بؤرة الضوء الأزرق ظهرت لنا صورة النجم كنقطة مضيئة زرقاء في المركز يحيط بها حلقات ملونة بألوان الطيف المرئي فتكون صورته غير واضحة . انظر الشكل التالي :

ولعلاج هذا العيب يمكن استخدام عدسة مركبة من التصاق عدستين احدهما مستوية مقعرة مصنوعة من زجاج فلنت والأخرى محدبة الوجهين مصنوعة من زجاج كراون

عدسة مركبة للتخلص من العيوب اللونية

العيوب الكروية

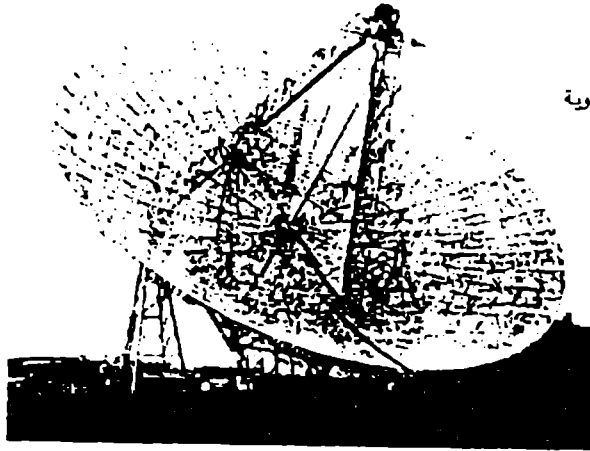
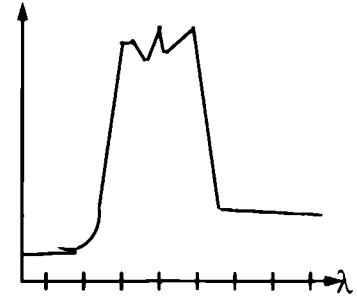
ويظهر بجميع العدسات وفي المرايا (المقعرة والمحدبة) حيث يكون لوجهيهما سطوح كروية . ولا يمكن تجميع الضوء الساقط على سطوحها في نقطة واحدة . حيث أن الأشعة الضوئية التي تمر بعيدة من مركز العدسة تنكسر بدرجة أكبر من الأشعة الضوئية التي تمر قريبة من مركز العدسة وإن كانت الأشعة ذات طول موجي واحد كما في الشكل التالي :

ويعالج هذا العيب الكروي بأن يكون كل وجه من أوجه العدسة على شكل قطع مكافئ (Para boloid) بدلاً من الشكل الكروي .

وهناك من التلسكوبات الضخمة المنتشرة في العالم منها تلسكوب عاكس قطر مرآته 200 بوصة في الولايات المتحدة كليفورنيا بُنِيَ عام 1948م وآخر في الإتحاد السوفياتي بني عام 1970م قطر مرآته 236 بوصة .

ويلتحق بالتلسكوب عادة ، أدوات وأجهزة مهمة يؤدي كل منها عملاً معيناً في الأبحاث الفلكية مثل مرسمة الطيف والتي تحتوي على منشور زجاجي أو محزز الحيود، وكاميرات تصوير عادية وأوتوماتيكية مزودة بمرشحات ضوئية مختلفة، وأجهزة فوتوميترس لقياس شدة الضوء النجمي الساقط أو استعمال خلايا كهروضوئية حساسة تحوّل الفوتونات الضوئية إلى إلكترونات حيث يَتَضَاعَفْ عددها بأجهزة خاصة (أنبوبة التضاعف الفوتوني) للحصول على تيارات الكترونية كبيرة حيث تسقط على شاشة فوسفورية خاصة تتوهج عند سقوط إلكترونات عليها لتكون صورة للنجم والتي يمكن التقاط صورة لها على فيلم حساس بواسطة كاميرات عادية .

3.3.2.2 **التلسكوبات الراديوية** Radio Telescopes

يصمم التلسكوب الراديوي لاستقبال الإشعاعات الراديوية والتي تتراوح ما بين 0.01 إلى 30 متراً وتصل إلى الأرض باستمرار طوال اليوم، حيث يتمكن العلماء من معرفة الكثير عن

الكون والمجرات والسدم المظلمة، وتصنع بعض التلسكوبات الراديوية من صفائح معدنية متصلة على شكل صحن مقعر يسمى العاكس وظيفته تجميع الأمواج الراديوية التي يلتقطها من الجو وتركيزها في البؤرة، حيث يرتفع من وسطه عمود يُدعى بالهوائي والعاكس والهوائي محمولان على هيكل دوار يمكن تحريكه في جميع الاتجاهات ويقوم الهوائي المؤلف من شبك سلكي والذي يدور مستقلاً عن الصحن العاكس بتحويل هذه الأمواج إلى نبضات كهربائية مترددة الشدة، ثم يقوم بتوجيه النبضات الكهربائية الناتجة إلى المستقبل وهذا يضخمها بدوره لتظهر على شاشة الذبذبات(أوسِلسكوب) على نمط معين من الصور الخطية البيانية كما ترى في الشكل. وبهذا يختلف التلسكوب الراديوي عن التلسكوب البصري في أن بعض المعلومات التي نحصل عليها ليست صورة فوتوغرافية للجرم السماوي بل هي نبضات كهربائية مترددة .

تلسكوب راديوي قطره 300 قدم في ولاية فرجينيا / امريكا .

كما ويصمم التلسكوب الراديوي بطريقة تضمن الحصول على أكبر قوة تحليل ممكنة وهي هنا أكبر من قوة تحليل التلسكوب البصري، وتستعمل العلاقة التالية لحساب قوة تحليل التلسكوب الراديوي .

$$R = \frac{\text{طول الموجة الراديوية}}{\text{قطر مرآة التلسكوب}} = \frac{\lambda\ (cm)}{D\ (cm)}$$

كما أنه بسبب كون طاقة الأمواج الراديوية المنبعثة من الأجرام السماوية قليلة لذلك تُصنع التلسكوبات الراديوية كبيرة الحجم .

وأحياناً يستخدم مقياس التداخل الراديوي لتحديد مكان النجوم الراديوية بكل دقة ممكنة، حيث يتكون من تلسكوبين راديويين أو أكثر متباعدين بمسافة بضعة كيلومترات، وهنا تزداد قوة تحليل المقياس حيث نعوض المسافة بين التلسكوبين في العلاقة السابقة بدلاً من قطر المرآة.

ويُعد الخط الموجي الراديوي (21) سم الصادر عن ذرات الهيدروجين في الفضاء أهم المجسات لدراسة المجرات وفضاء ما بين النجوم .

ويراعى عند اختيار المكان المناسب للمراصد الفلكية البصرية عادة المناطق الجبلية العالية (لامتدادها فوق جزء كبير من الغلاف الجوي الأرضي) بينما في حالة التلسكوب الراديوي يُراعى اختيار منطقة بعيدة عن الإشارات الراديوية والتلفزيونية الإصطناعية والإشارات الساكنة من السيارات وأنظمة وقود ومحركات الطائرات النفاثة مثل المناطق المنخفضة لتجنب هبوب الرياح القوية .

3:3:2:3 التلسكوبات في الفضاء والدراسات الفلكية في نطاقات الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق بنفسجية واشعة اكس واشعة جاما .

نحن نعلم بأن الإشعاعات النجمية أو المنعكسة عن الكواكب تشمل المنطقة المرئية من الطيف وتمتد خارج حدودها لتشمل مناطق غير مرئية . ويعتبر الغلاف الجوي الأرضي (بخار الماء) غير منفذ للإشعاعات الفوق بنفسجية والسينية (أي أقل من 3100 انجستروم) وكذلك لجزء كبير من الأشعة تحت الحمراء 25000 - 40000 انجستروم) ويمكن استخدام التلسكوبات البصرية العملاقة لقياسها على الأرض، بعد تجميعها في البؤرة (على الرغم من صعوبة ذلك باستخدام عدسات زجاجية) ولذلك لدراسة الطيف الكامل للأشعة تحت الحمراء أو الأشعة فوق البنفسجية يلزم استخدام تلسكوبات في الفضاء (فوق الغلاف الجوي الأرضي) وذلك عن طويق استعمال طائرات تحلق على ارتفاعات عالية (كالبوينج 747) أو البالونات أو الصواريخ أو الأقمار الإصطناعية التي تدور في مدارات حول الأرض .

هذا ويوجه المشتغلون في مجال دراسة الأشعة تحت الحمراء باستخدام تلسكوبات على الأرض أو في الفضاء من مشكلة انبعاث أشعة تحت الحمراء من الأجهزة التلسكوبية نفسها والتي قد تتداخل مع الأشعة القادمة من النجوم أو السدم أو الكواكب، ولمعالجة هذه الأمور توضع الأجهزة داخل أوعية مملوءة بسائل النيتروجين (عند درجة حرارة 77° مطلقة) أو

سائل الهيليوم (عند درجة حرارة 4° مطلقة) لتبريدها، وتبقى فتحة صغيرة لاستقبال الأشعة تحت الحمراء من الفضاء .

والجدير بالذكر أن الأجهزة الحديثة الكاشفة عن الأشعة تحت الحمراء تتكون من صف أو عدة صفوف من القطع الصغيرة (Tiny Chips) من مواد شبه موصلة تشكل جزءاً من دوائر كهربائية والتي تتصل بدورها بأجهزة مضخمة للإشارات الكهربائية الصغيرة الناتجة . وتبنى المراصد الفلكية باستخدام الأشعة تحت الحمراء على الأرض في المناطق المرتفعة جداً والباردة (أعلى من 3 كم) حيث تقل نسبة الرطوبة في الجو . وفوق طبقة التروبوسفير إن أمكن.

أما بالنسبة لدراسة صورة الكون باستخدام الأشعة فوق بنفسجية، فيجب استخدام تلسكوبات تشبه التلسكوبات البصرية من حيث المبدأ وتحملها صواريخ عابرة للفضاء أو أقمار صناعية تدور في مدارات حول الأرض أو القمر وتبعث بمعلوماتها لاسلكياً إلى الأرض، إلا أن سطوح هذه التلسكوبات الضوئية بحاجة إلى طلاء خاص له إنعكاسية عالية للأشعة فوق بنفسجية (1200 - 4000)انجستروم، أما بالنسبة لمصادر الأشعة السينية في الكون تكون عادة نجوم فوق متفجرة (Supernova) ، حيث تبلغ درجة حرارة الغاز المنطلق منها حوالي مليون درجة مطلقة، ولدراستها يجب استخدام تلسكوبات خاصة تطلق إلى الفضاء مع العلم أنه ليس من السهل بناء تلسكوبات عاكسة للأشعة السينية، لأن معظم المواد غير شفافة بما فيه الكفاية للأشعة السينية (معظمها يمتص الأشعة السينية إلا أنه من الممكن استعمال سطوح على شكل قطع زائد أو مكافئ مصقولة جيداً بحيث تكون زاوية سقوط أشعة إكس (الأشعة الشيئية) مع السطوح صغيرة جداً حتى تتجمع في نقطة، وبعدها تستخدم كواشف خاصة (كالخلايا الكهروضوئية) لتحويل الأشعة السينية أو الفوق بنفسجية إلى إشارة كهربائية يجري تضخيمها مرات عديدة، وقياس طاقتها .

أما بالنسبة لداسة أشعة جاما القادمة من الفضاء الكوني، فتزداد صعوبة تجميعها في بؤرة واحدة على مبدأ التلسكوب العاكس ولذلك لا بدّ من استخدام تقنيات أخرى متطورة مثل بناء حجر تأين مملوءة بغاز الآرغون أو الميثان، وتُحمل في صاروخ أو بالون وعند سقوط أشعة جاما عليها يتأين الغاز إلى أيونات موجبة وإلكترونات سالبة، وتتجمع الإلكترونات على شكل

إشارة كهربائية يجري تضخيمها مرات عديدة، ويرسم منحنى الطاقة لها . وقد تستعمل كواشف بلاستيكية تتأثر بأشعة جاما أو كواشف من مواد شبه موصلة . وتقوم وكالة الفضاء الأميركية (NASA) بمثل هذه الأبحاث منذ عام 1946حتى هذه الأيام .

أسئلة وتمارين

أجب عن الأسئلة التالية :

1- ما المقصود بكل من : الطيف الكهرومغناطيسي، النورانية النجمية، السطوع النجمي، منحنى الإشعاع (لبلانك) الإنزياح الطيي الدوبلري .

2- ما نوع المعلومات التي يمكن للفلكين أن يحصلوا عليها من دراستهم لهذه الأطياف النجمية.

3- ما هي الأنواع المختلفة للأطياف المرئية وكيف ينتج كلاً منها ؟

4- احسب الطول الموجي المقابل لأعظم شدة إشعاع لنجم ما درجة حرارته السطحية $25000k^{\circ}$ ؟ وهل سيظهر بلون معين ؟

5- قزم أبيض، درجة حرارته السطحية 10^4 درجة مطلقة، ونجم عملاق أحمر درجة حرارته السطحية $2000k^{\circ}$ قارن بين السطوع النجمي لكل منهما (الطاقة المنبعثة من وحدة المساحة؟

6- كيف تفسر وجود خطوط امتصاصية في أطياف بعض النجوم العادية ؟

7- تلسكوب A قطر مرآته (4m) وتلسكوب B قطر مرآته (1m) :

أ) قارن بين قدرة الأول إلى الثاني بالنسبة لتجميع الضوء النجمي .

ب) أي منهما له قدرة أكبر على التحليل والتفريق بين جسمين متقاربين من بعضهما ؟

8- قارن بين التلسكوبات الكاسرة والعاكسة من حيث أوجه الشبه والاختلاف ؟

9- ما هي الشروط المناسبة لاختيار الموقع المناسب لمرصد فلكي بصري ؟

10- لماذا تُبنى التلسكوبات في الفضاء ؟

11- لماذا تصنع التلسكوبات الراديوية كبيرة جداً ؟

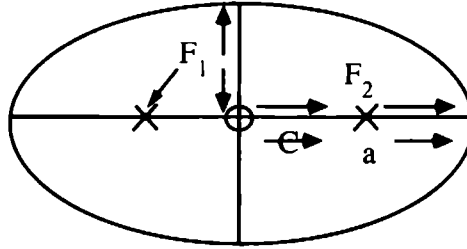
12- احسب التكبير الناتج للصورة المتكونة لتلسكوب قطره 100 إنش، إذا كان البعد البؤري للعدسة الشيئية (400) إنش . أما البعد البؤري للعدسة العينية فهي (2) إنش .

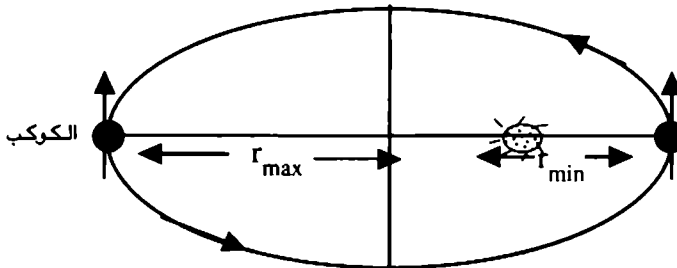
13- ما المقصود بالتألق النجمي ؟ ولماذا يحدث ؟

الفصل الرابع
المجموعة الشمسية

4:1 مقدمة

تتألف المجموعة الشمسية من نجم واحد هو الشمس (تبلغ كتلته 99.9 % من كتلة المادة الكلية في المجموعة) والكواكب وتوابعها، والكويكبات والشهب والنيازك . وتدور الكواكب حول الشمس في مدارات إهليجية (ذات قطع ناقص) والمدار الإهليجي هو منحنى مغلق يقع في مستوى وله محوران أحدهما كبير نصف قطره (a) ، والآخر صغير نصف قطره (b) ويوجد له بؤرتان (F_1, F_2). والنقطة (O) في الشكل هي مركز القطع الناقص، وتبعد كل من البؤرتين المسافة (C) عن مركز القطع الناقص (O) والعلاقة التي تربط هذه المتغيرات هي :

$$c = (a^2 - b^2)^{\frac{1}{2}}$$

كما أن (أقل بعد للكوكب عن الشمس) + (أعظم بعد للكوكب عن الشمس) = قطر المحور الكبير للمدار الإهليجي

وبالرموز $r_{min} + r_{max} = 2a$

مدار إهليليجي

وتحسب قيمة الشذوذ المركزي للمدار eccentricity بالعلاقة التالية :

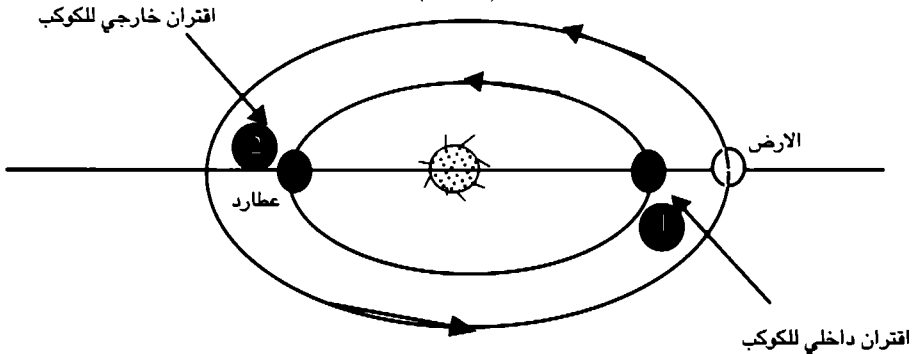
$$e = \frac{c}{a} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

وتتراوح قيمة الشذوذ لمدارات الكواكب ما بين $0 < e < 1$.

وهناك انتظام في حركة الكواكب حيث تخضع لقوانين كبلر الثلاثة، وللقانون العام في الجاذبية لنيوتن، أما أبعادها عن الشمس فتتبع صيغة العالم بود .

وللكواكب حركتان أحدهما محورية حول نفسها من الغرب إلى الشرق وعكس عقارب الساعة (في معظم الحالات) . وتعرف باليوم الكوكبي، وللكواكب حركة مدارية حول الشمس أيضاً من الغرب إلى الشرق وعكس عقارب الساعة والزمن اللازم لإكمال هذه الدورة حول الشمس كما ترى ممن قبل النجوم تعرف بالدورة النجمية للكوكب Sidereal period .

وتختلف هذه الدورة عن الدورة الإقترانية للكوكب (Synodic period) حول الشمس وتُعرف على أنها الفترة الزمنية اللازمة للكوكب ليكون على استقامة واحدة مع الأرض والشمس مرتين متتاليتين (وعندما يكون الكوكب ما بين الأرض والشمس نقول أن هذا اقتران داخلي، وإذا كانت الشمس بين الأرض والكوكب نقول أن هذا الوضع اقتران خارجي . وتوجد صيغتين مختلفتين لحساب الدورة الاقترانية للكواكب، احدهما تستخدم للكواكب الداخلية مثل (عطارد والزهرة) (inferior planets) والأخرى للكواكب الخارجية مثل (المريخ، المشتري ، زحل ..) (Superior Planets) وعلى هذا إذا كان المتغير (P) يمثل عدد الدرجات التي يقطعها الكوكب على مداره حول الشمس في اليوم، والمتغير (E) يمثل عدد الدرجات التي تقطعها الأرض على مدارها حول الشمس في اليوم فإن الدورة الإقترانية للكواكب الداخلية (T_{sy}) تعطى بالعلاقة التالية :

$$T_{sy} = \frac{360^\circ}{(P - E)}$$

مثال : الدورة النجمية لكوكب عطارد حول الشمس هي 88 يوماً، وللأرض 25 , 365 يوم احسب الدورة الاقترانية لعطارد ؟

الحل :

$$P_{\text{لعطارد}} = \frac{360^\circ}{88\ day}$$

$$E_{\text{للارض}} = \frac{360^\circ}{365\ .\ 25\ day}$$

$$T_{sy}\ \text{لعطارد} = \frac{360^\circ}{\frac{360^\circ}{88day} - \frac{360^\circ}{365\ .\ 25\ day}} = 116\ day$$

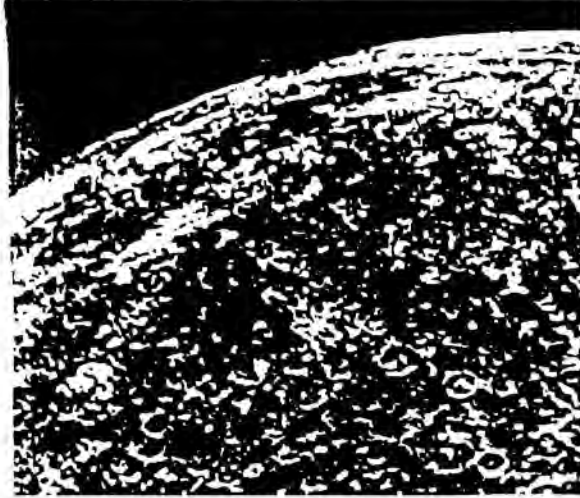
وتحسب الدورة الإقترانية للكواكب الخارجية بالصيغة التالية :

$$T_{sy} = \frac{360^\circ}{E - P}$$

كما أن الكواكب تقسم حسب حجمها وكثافتها إلى مجموعتين : الأولى وتدعى بالكواكب الأرضية وتشمل (عطارد والزهرة والأرض والمريخ وبلوتو) حيث تتشابه مع الأرض في حجمها وكثافتها تقريباً . والمجموعة الثانية وتدعى بالكواكب العملاقة وتشمل المشتري وزحل وأورانوس ونبتون) وهي كبيرة الحجم قليلة الكثافة، وتصنف الكواكب بالنسبة لبعدها عن الشمس فهناك الكواكب الداخلية وتشمل (عطارد والزهرة) والكواكب الخارجية وتشمل (المريخ والمشتري وزحل وأورانوس ونبتون وبلوتو) .

وتقع معظم مدارات هذه الكواكب في نفس المستوى تقريباً، ويؤدي ميلان محور دوران الكوكب على العمودي على المدار إلى وجود ظاهرة الفصول الأربعة على سطح الكوكب كما هو الحال على الأرض، وتبدو الكواكب لامعة في الليل بسبب انعكاس أشعة الشمس عن أسطحها واغلفتها الجوية ولذلك يعرف معامل البياض للكوكب (Albedo) بأنه النسبة بين الأشعة المنعكسة إلى الأشعة الساقطة على الكوكب، ويُعد الماء والجليد والغيوم مواد ذات قدرة عالية على انعكاس الضوء مقارنة بالأتربة والصخور على الأرض . وإليك شرحاً عن هذه الكواكب بالترتيب حسب بعدها عن الشمس .

4:2 كوكب عطارد The Planets Mercury

وهو أقرب الكواكب إلى الشمس، ويمكن رؤيته بالعين المجردة في السماء، وأفضل الأوقات لرؤيته آذار، ونيسان، وآب، وأيلول، حيث تكون استطالته الصباحية أو المسائية حوالي 28° من موقع الشمس، ويظهر إما قبل شروق الشمس أو بعد غيابها مباشرة .

صورة عطارد كما التقطتها سفينة الفضاء مارينر 10

وبسبب كون مداره داخل مدار الأرض فإن عطارد يعبر أحياناً أمام الشمس، ويرى المشاهد على الأرض دائرة سوداء صغيرة (تغطي حوالي 1 % من قطر الشمس) تقطع قرص الشمس ببطئ ويدعى هذا الوضع (الاقتران الداخلي ويحدث ذلك فقط في شهري أيار وتشرين الأول، وهو نادر الحدوث بسبب أن مدار كوكب عطارد يميل على مستوى مدار الأرض بزاوية (7°) ولذلك عند عبوره الخط الواصل بين الأرض والشمس يكون إما شماله أو جنوبه ولكوكب عطارد أطوار شبيهة بالقمر (هلال، تربيع أول ....الخ).

وإليك أهم الخصائص الطبيعية لكوكب عطارد :

متوسط بعده عن الشمس 0.387 وحدة فلكية، والشذوذ في مركزية المدار 0.2056 . وميل مستوى مداره على الاكليبتك "0.1'46 °7 ، وفترة الدوران حول الشمس 88 يوم (الدورة النجمية) (عكس عقارب الساعة) من الغرب إلى الشرق، أما دورته الإقترانية حول الشمس فهي 116 يوم، وفترة الدوران حول المحور 58.7 يوم (عكس عقارب الساعة) من الغرب إلى الشرق، وميل دائرة استوائه على مستوى مداره °28 ومعدل سرعته المدارية حول الشمس 48

كم / ثانية، والقطر الظاهري "10.88، والقطر الحقيقي 0.382 من قطر الأرض، وكتلة الكوكب 0.055 من كتلة الأرض، ومعدل الكثافة 5.42 غم / سم^3 . وسرعة الهروب من الجاذبية 4.2 كم / ث، ودرجة الحرارة 700K° (على سطحه النهاري)، وهي 100K° (على سطحه الليلي)، ومعامل البياض 0.06 ولا يوجد له أقمار .

المجال المغناطيسي :

موجود ولكنه ضعيف ويعادل حوالي 1% من شدة المجال المغناطيسي الأرضي (حسب نتائج سفينة الفضاء مارينر - 10 عام 1974 م) .

الغلاف الجوي :

يحتفظ عطارد حوله بغلاف جوي بسيط بسبب صغر كتلته ومن ثم جاذبيته وأيضاً لارتفاع حرارته بشكب كبير نظراً لقربه من الشمس الأمر الذي أدى إلى تبخر جوّه .

التركيب الجيولوجي :

1- **طبقة القشرة الصلبة** (Crust) وتتميز بوجود فوهات بركانية ومرتفعات جبلية ومناطق مغبرة (ترابية) ويقدّر سمكها حوالي (20) كم وتشبه صخوره الأرض والقمر ما عدا احتوائها على نسبة قليلة من العناصر المتطايرة .

2- **طبقة الوشاح** (Mantel) :ويبلغ سمكها حوالي 600 كم ولا يعرف تركيبها على وجه الدقة ولكن يعتقد أنها مكونة من مادة السيليكات .

3- **طبقة اللب** (Core) : ويعتقد الفلكيون أنه كثيف جداً، وذلك لاحتوائه على كميات كبيرة من الحديد المصهور (بدليل وجود مجال مغناطيسي على سطحه) ، ويبلغ سمكها حوالي 1800 كم، ويدل على وجود المعادن الثقيلة في لبه على حدوث عملية الترسيب التفاضلي للمعادن عندما كانت مصهورة في بداية عمر الكوكب، وربما يعود سبب انصهار اللب وجود مصدر حرارة كبيرة ناتجة عن الإحتكاك الداخلي بين طبقاته وقوى المد والجزر الناتجة عن قوى الجذب الثقالي بين الشمس وعطارد .

4:3 كوكب الزهرة The Planet Vevus

يُعد كوكب الزهرة من المع الأجرام السماوية (باستثناء الشمس والقمر) ويظهر الكوكب في السماء في الليالي الصحوة بعد غروب الشمس ولمدة تقرب من ثلاث ساعات (كنجم ليلي) لمدة

أقل من عشرة شهور، أو يمكن مراقبته كنجم صباحي في الخريف قبل شروق الشمس حتى بزوغ الفجر لمدة أقل من عشرة شهور أخرى ويظهر لكوكب الزهرة أطوار كالقمر وعطارد، وتبلغ أقصى استطالة صباحية أو مسائية له حوالي (46°) .

صورة لكوكب الزهرة التقطتها السفينة الفضائية مارينر 10

ويحدث أحياناً أن يعبر أمام الشمس ويستغرق عبوره حوالي ثمان ساعات على الأكثر . ومع ذلك فهذا يحدث نادراً لكون مدار الكوكب يميل على الاكلبتك حوالي (3°) وإليك الخصائص الطبيعية لكوكب الزهرة :

متوسط بعده عن الشمس 0.72 وحدة فلكية . والشذوذ في مركزية المدار 0.007(مداره قريب من الدائرة) وميل مستوى مداره على الاكلبتك 3.4° وفترة الدوران حول الشمس 225 يوم (الدورة النجمية، عكس عقارب الساعة) من الغرب إلى الشرق، وأما دورته الاقترانية فهي 584 يوم، وفترة الدوران حول المحور243 يوم (مع عقارب الساعة من الشرق إلى الغرب)، وميل دائرة استوائه على مستوى مداره 3° (أي أن محور الدوران يميل بضع درجات عن العمودي على مستوى المدار . ومعدل سرعته حول الشمس 35 كم/ث . والقطر الظاهري يتراوح ما بين ("11 - "61) ، والقطر الحقيقي 0.95 من قطر الأرض . وكتلة الكوكب 0.85 من كتلة الأرض . ومعدل الكثافة 5.3غم / سم^3 . وسرعة الهروب من الجاذبية 10.3 كم/ث ، ودرجة الحرارة $240K^\circ$ (الطبقات العليا للغيوم)، و $750K^\circ$ (درجة حرارة سطحه) . مع العلم

أن التباين في درجة حرارة السطح النهاري والليلي صغير . ومعامل البياض= 0.76 ولا يوجد له أقمار .

المجال المغناطيسي :

يختلف كوكب الزهرة عن الأرض بعدم احتوائه على مجال مغناطيسي، حيث زارته عدد من المركبات الفضائية منذ عام 1962، ولم يثبت وجود مجال مغناطيسي عليه، ويبدو أن السبب يعود إلى دورانه البطيء حول نفسه، مما يجعله غير قادر على إدارة الدينامو في لبه .

الغلاف الجوي :

يحتفظ كوكب الزهرة بغلاف سميك، وبشكل عام يبدو أنه مستقر نسبياً بالمقارنة مع جو الأرض وذلك بسبب كون كثافتة وضغطه الجوي أكبر منه في حالة جو الأرض ودورانه البطيء حول نفسه والتي تعمل على تقليل حوكة الكتل الغازية . وتزداد درجة الحرارة مع الهبوط في الغلاف الجوي نحو سطح الزهرة، كما ويزداد الضغط الجوي بنفس الاتجاه أيضاً، إذ يبلغ الضغط الجوي عند السطح حوالي (90) مرة من الضغط الجوي على سطح الأرض .

وهذا ما يمنع أجهزة الإرسال في السفن الفضائية التي حاولت الهبوط على سطحه من العمل . وتعمل الغيوم على عكس نسبة كبيرة من أشعة الشمس الساقطة على الكوكب . وتتألف الغيوم من قطرات من حامض الكبريتيك أو شوائب دخانية (من أصل بركاني) ويتركب الغلا ف الجوي كيميائياً من المواد التالية :

غاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة 96% تقريباً وهذه تعادل نفس كمية ثاني أكسيد الكربون الموجود على الأرض سواءً على شكل صخور على هيئة (كربونات) أو مذاب في مياه البحار، وغاز النيتروجين بنسبة 2%، كما ويوجد شوائب متنوعة مثل بخار الماء بنسبة 0.05%، والاكسجين 0.1% والآرغون، والنيون، والكبريت على هيئة غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 والذي يعمل على امتصاص الأشعة الفوق بنفسجية التي تصل الزهرة، أو على هيئة حامض كبريتيك حيث يتكاثف أحياناً من طبقات الغيوم السفلى على شكل قطرات سائلة (كمياه الأمطار على الأرض) .وتعزى درجة الحرارة العالية على سطح كوكب الزهرة إلى ظاهرة البيت الأخضر (Green House Effect) حيث يقوم الغلاف الجوي للزهرة بامتصاص الطاقة الشمسية الواردة إليه جزئياً، (4000 - 7000) انجستروم، حيث ينفذ في معظمه إلى السطح ويقوم بتسخينه، إلى درجة معينة حيث يبدأ السطح بإشعاع فوتونات ضوئية ذات أمواج طويلة تدخل في مجال الأشعة تحت الحمراء (infra - red) حيث تصل طول موجتها إلى 10^4

انجستروم . فيقوم غاز ثاني أكسيد الكربون بامتصاص هذه الأشعة ويخزنها لفترة، ثم يشعها مرة ثانية إلى سطح الكوكب، فيسخن ويعاود الإشعاع من جديد، وهكذا إلى أن يمنع غاز ثاني أكسيد الكربون في جو الزهرة من انطلاقها إلى الفضاء الكوني .

التركيب الجيولوجي :

لم يتوفر معلومات كافية عما هو تحت السطح من طبقات، ولكن يبدو أن حوالي 65% من سطحه يتكون من سهول مستوية ومغطاة بالأحجار ذات الأصل البركاني، وتحوي تربته على ما نسبته 4% من البوتاسيوم ونسبة ضئيلة من اليورانيوم ولثوريوم وتوجد جبال شاهقة حيث تغطي ما نسبته 8% من سطحه .

وتوجد الأودية الطويلة والعريضة والعميقة حيث تغطي ما نسبته 27% من سطحه تقريباً ودلت الأبحاث على وجود نشاطات بركانية على سطحه، ووجود ظاهرتي البرق والرعد بشكل متواصل . كما أن صخوره لها حواف حادة مما يدل على عدم وجود عوامل التعرية المعروفة على الأرض (من رياح ومطر) .

4:4 كوكب الأرض The Planet Earth

يتميز كوكب الأرض بوجود حياة عاقلة بشرية عليها، حيث خصها الله بجملة من الخصائص لتكون مكاناً صالحاً للعيش، من هذه الخصائص التنوع في المناخ على امتداد الفصول ووجود غلاف جوي يحمي الكائنات الحية من خطر الإشعاعات الضارة ووجود تابع لها وهو القمر يضيء لياليها الموحشة في الصحراء . وإليك خصائصها الطبيعية :

كوكب الأرض

متوسط بعدها عن الشمس وحدة فلكية واحدة، وتعادل حوالي 149 مليون كيلومتر . والشذوذ في مركزية المدار 0.17، وفترة الدوران حول الشمس 256 . 365 يوم شمسي (الدورة النجمية) عكس عقارب الساعة من الغرب إلى الشرق، وفترة الدوران حول المحور $23^h\ 56^m\ 4^s$ (يوم واحد) عكس عقارب الساعة من الغرب إلى الشرق . وميل دائرة استوائه على مستوى مداره 23.5° ومعدل سرعتها المدارية حول الشمس 30 كم/ثانية، القطر الاستوائي 12756 كم، ومعدل كتلة الأرض 6×10^{24} Kg ، ومعدل الكثافة 5.5 غم/سم^3 وسرعة الهروب من الجاذبية 11.2 كم/ث ، ومعامل البياض 0.39 ولها قمر واحد يدور حولها . وعجلة الجاذبية عند مستوى سطح البحر 10م/ث^2، وتبلغ كمية الطاقة الشمسية الواصلة لسطح الأرض 1.94 سعر حراري /سم^2 /دقيقة . ويبلغ قطر الأرض القطبي 12714 كم .

الغلاف الجوي الأرضي (الهواء) :

تبدو الأرض ساطعة بلون أزرق لمشاهد على القمر مثلاً بسبب تشتت الأشعة الساقطة عليها من الشمس بواسطة الغلاف الجوي الأرضي والذي يعمل على خزن الطاقة الشمسية ومنعها من التسرب إلى الفضاء الخارجي، وبذلك يكون الفرق بين درجتي حرارة الليل والنهار على الأرض ضئيل جداً . ويعمل على حماية الإنسان من خطر الأشعة الفوق بنفسجية القادمة من الشمس . ويُعد الهواء مخلوطاً من غازات متعددة بنسب حجمية معينة أهمها :

غاز النيتروجين N_2 بنسبة 78%، وغاز الأوكسجين O_2 بنسبة 21%، ويشكل (غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2، وبخار الماء H_2O، والآرغون Ar، والأوزون O_3 حوالي أقل من 1%) .

والجدير بالذكر أن غاز الأوكسجين يتكون نتيجة عملية التمثيل الضوئي في النبات والضروري للتنفس، أما غاز النيتروجين فيعمل على تلطيف الجو وتعمل بعض البكتيريا على تحلل المواد المدفونة في التربة وتصاعد غاز النيتروجين إلى الجو بالاضافة إلى ما تقدمه البراكين من أكاسيد نيتروجينية . أما غاز ثاني أكسيد الكربون فينتج عن دخان المصانع وعوادم السيارات وحرق الفحم والبترول، ويلاحظ العلماء أن زيادة نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو يعمل على زيادة تسخين جو الأرض بواسطة ظاهرة البيت الأخضر، ويمكن تقسيم الغلاف الجوي الأرضي إلى أربع طبقات رئيسية هي :

1- طبقة التروبوسفير (Troposphere)

وتمتد من سطح الأرض إلى إرتفاع 10 كم ويحدث بها معظم تقلبات الطقس (ضباب، غيوم، مطر، رياح) وتنخفض درجة حرارتها مع الارتفاع بسبب وجود حركة تيارات هوائية

حملية (رأسية)، وتدعى الطبقة الفاصلة بين التروبوسفير والطبقة التي تليها بالتروبوبوز .Tropopause

2- طبقة الستراتوسفير Stratosphere

وتدعى بالطبقة الهادئة وتمتد حوالي 40كم فوق التروبوسفير، وتبقى درجة حرارتها ثابتة في المناطق السفلى ثم تأخذ بالزيادة تدريجياً كلما ارتفعت لأعلى بسبب كون حركة التيارات الهوائية أفقية موازية لسطح الأرض . وتصلح هذه الطبقة للطيران التجاري . ويقل وجود بخار الماء فيها ويتكون غاز الأوزون بكثرة في مناطقها العليا بتأثير أشعة الشمس الفوق بنفسجية على غاز الأوكسجين .

3- طبقة الايونوسفير The Ionosphere

يتفاوت سمك هذه الطبقة ما بين 80 و 160 كم، وتحتوي على أعداد وفيرة من الذرات المتأينة بسبب الأشعة الفوق بنفسجية والأشعة السينية القادمة من الشمس . وتتميز إلى طبقات ثلاث معروفة ويشار إلى الطبقة السفلى بالرمز (D) وتعمل على عكس الأمواج الراديوية الطويلة الموجة . أما الطبقة الثانية فيشار إليها بالرمز (E) وتعمل على عكس الأمواج الراديوية المتوسطة الموجة أما الطبقة الثالثة العليا فيشار إليها بالرمز (F) وتعمل على عكس الأشعة الراديوية القصيرة الموجة . وأحياناً تتأثر الاتصالات الراديوية على الأرض أثناء ذروة النشاط الشمسي حيث يتغير مجال الشمس المغناطيسي نتيجة تباطؤ الشمس في دورانها فقدانها كميات كبيرة من الرياح الشمسية المشحونة .

4- طبقة الاكسوسفير The Exosphere

وتقع فوق طبقة الأيونوسفير، وتستمر إلى الفضاء الخارجي، ومن هذه المنطقة تهرب الذرات والجزيئات من الجاذبية الأرضية، ويقوم المجال المغناطيسي الأرضي بمنع الدقائق المؤينة القادمة من الشمس من الدخول الى سطح الارض فتحرفها عن مسارها الأصلي .

والجدير بالذكر أن الغلاف الجوي يؤثر على الإشعاعات القادمة من الشمس بواسطة الانعكاس (عن ذرات الغبار والدخان) خاصة عند غروب الشمس أو شروقها فيوفر ضوءاً إضافياً للنهار (Twillight) ويدوم حتى يصبح مركز الشمس حوالي 18° تحت الأفق . ويقوم الغلاف الجوي بامتصاص بعض الأطوال الموجية ويقوم بتشتيت الضوء الأزرق إلى الجانبين فيما يمر الضوء الأحمر من الهواء بدون تشتت وبذلك تظهر السماء زرقاء ، بينما يظهر قرص الشمس أحمر أو برتقالي عند الغروب أو الشروق . كما أن الضوء ينكسر أثناء مروره في

فضاء ما بين النجوم إلى الغلاف الجوي الأرضي، حيث تزداد كثافة الهواء كلما اقتربنا من سطح الأرض، وتبدو جميع الأجرام السماوية في مواضع ظاهرية أعلى من مواضعها الحقيقية، ولهذا فإنه يمكننا رؤية الشمس والنجوم قبل شروقها بقليل وبعد غروبها أيضاً .

تسخين سطح الأرض

تُعد الشمس مصدر الحرارة الوحيد على الأرض، وتسخن الشمس المناطق القريبة من خط الاستواء أكثر من غيرها من المناطق ذات خطوط العرض المرتفعة، لأن الشمس تتحرك ما بين -23.5° جنوباً و $+23.5^\circ$ شمالاً . ولذلك تنشأ الرياح نتيجة اختلاف التسخين من منطقة لأخرى . وتعتمد شدة الرياح على عاملين مهمين هما حركة التيارات الهوائية الحملية convection air current مثل نسيم البر، ونسيم البحر، وكذلك على سرعة دوران الأرض حول نفسها .

تركيب الأرض الجيولوجي :

تدل الدراسات السيزمولوجية للأرض، والتي تهتم برصد الزلازل إلى انبعاث ثلاثة أنواع من الموجات السيزمية عندما تنزلق أحد أجزاء القشرة الأرضية بالنسبة إلى المناطق المجاورة لها، فيحدث فتقاً، هذا الفتق ينتج عنه الزلزال المدمر، أما الأمواج السيزمية الناتجة فهي :

أ) الموجة السطحية (L) : وتنتشر مثل موجات البحر على سطح الأرض، وسرعتها قليلة نسبياً، وهي الأكثر ضرراً ولا تصل لأعماق كبيرة داخل الأرض .

ب) الموجة الأولية (P) : وهي موجات طولية تضاغطية (تشبه أمواج الصوت) وسرعتها أكبر من النوع السابق، وتنتشر خلال المواد الصلبة والسائلة حيث تهتز جزيئات المادة إلى الأمام وإلى الخلف بموازاة إتجاه انتشار الموجة، وتصل لمحطة الرصد قبل غيرها من الموجات الزلزالية .

جـ) الموجة الثانوية (S) : وهي أبطأ الموجات سرعة، وتستطيع الانتشار خلال المادة الصلبة فقط ولذلك فهي موجة مستعرضة . وتتحرك جزيئات المادة حركة عمودية على اتجاه انتشار الموجة . وتعتمد سرعة هذه الموجات على كثافة المادة التي تنتقل خلالها . وتنكسر هذه الموجات وتنعكس إذا تغيرت طبيعة الوسط المادي التي تنتشر خلاله فجأة .

واعتماداً على سلوك هذه الموجات السيزمية يتوقع العلماء أن تتركب الأرض من الطبقات التالية :

1- القشرة (Crust) : وتشمل سطح الأرض الخارجي الصلب وقيعان البحار والمحيطات ويبلغ سمك القشرة المحيطية (5) كم تحت قاع البحر، أما القشرة القارية فيبلغ سمكها (48)كم تحت اليابسة وتنتشر فيها صخور صلبة تتميز إلى نوعين هما صخور السيال وتتكون من الألمنيوم والسيليكون وصخور السيما وتتكون من السيليكون والماغنيسيوم .

2- الوشاح (Mantle) : يمتد عمقها إلى حوالي 2280 كم تحت سطح الأرض، وهي مكونة من السيليكات الغنية بالماغنيسيوم والحديد . ويدعى الحد الفاصل بين القشرة والوشاح بحاجز الموهو . وتتميز طبقة الوشاح إلى مناطق فرعية تدعى العليا بالليثوسفير (Lithosphere) وهي صلبة والمتوسطة بالاسثينوسفير Asthenophere) وهي طبقة واهنة يحدث بها حركة السوائل المصهورة (براكين) والسفلى هي الميزوسفير (mesosphere) وهي غلاف أكثر صلابة من الأنواع السابقة .

3- اللب (Core) : ويتميز إلى طبقتين هما :

أ) اللب الخارجي (Outer Core): ويتراوح عمقها ما بين (2900 - 5100) كم ويعتقد بأنها مكونة من النيكل والحديد في حالة سائلة (إن دوران هذا الغلاف هو سبب المجال المغناطيسي الأرضي) .

ب) اللب الداخلي (Inner Core) : له نصف قطر حوالي (1280)كم ويعتقد بأنها مكونة من الحديد والنيكل بحالة صلبة . أما كثافة طبقة القشرة الأرضية فتبلغ 3.0 غم/ سم^3، وكثتفة طبقة الوشاح فتبلغ 3.5 غم/سم^3 وكثافة طبقة اللب 15 غم/سم^3 أما متوسط الكثافة العامة فتبلغ حوالي 5.5غم/سم^3 .

ويدل وجود المعادن الثقيلة في اللب على أن الأرض كانت في أحد مراحل حياتها مصهورة وترسبت هذه المواد الأثقل أولاً ثم الأخف فالأخف (differentiation Process)، ثم بُردت تدريجياً إلى أن تصلبت قشرتها .

الزحف القاري Continental drift والنشاط التكتوني Tectonic activity :

يتشكل سطح الأرض من القارات اليابسة حيث تبلغ مساحتها 25% من مساحة سطح الكرة الأرضية وتغطي البحار والمحيطات حوالي 75% من المساحة المتبقية ويلاحظ العلماء أن مواضع القارات بالنسبة لبعضها البعض خلال بلايين السنوات الماضية مما دعاهم إلى القول بزحف القارات، وانفصالها عن بعضها البعض . والدليل على صحة ذلك هو التوافق التام من جميع الوجوه بين صخور ومتحجرات الأراضي الواقعة على جانبي المحيط الأطلسي (ساحل

افريقيا الغربي وساحل أمريكا الجنوبية الشرقي)) . ولذلك أُقْتُرِحَتْ نظرية الألواح التكتونية (Theory of Plate tectonics) والتي تنص على أن القشرة الأضية تتكون من عدد محدود من الصفائح الواسعة الرقيقة السمك والتي تطفو على طبقة الاسثينوسفير المصهورة في الوشاح، وهذه الصفائح تتحرك بشكل دائم بمعدل 1سم/ سنة، وقد يحدث أحياناً أن تصطدم ببعضها البعض مما يؤدي إلى تغير في مواضعها وإلى تولد نشاط جيولوجي مثل الزلازل والبراكين .

صخور الأرض : تتميز صخور الأرض إلى الأنواع التالية :

أ) الصخور النارية (igenous Rocks) : وأصلها مقذوفات بركانية من مواد معدنية مصهورة ولونها أسود (رمادي) .

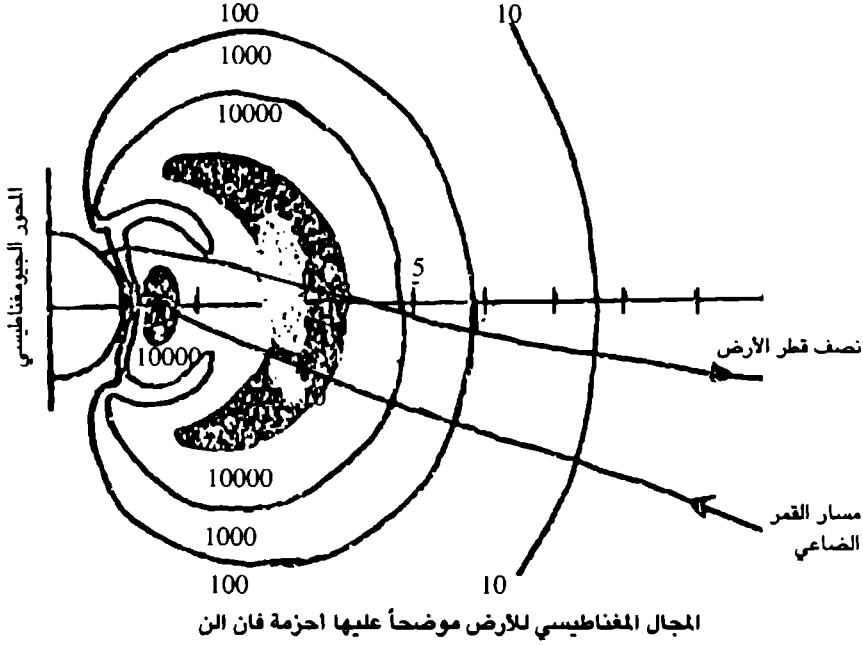
ب) الصخور الرسربية (Sedimentary Rocks) : وتنتج عن ترسبات لحبيبات صخرية صغيرة و أتربة بسبب عوامل الحت والتعرية الناتجة عن الرياح والمياه والأنهار .

جـ) الصخور المتحولة (Metamorphic Rocks) : وهذه تنتج عن النوعين السابقين مع تغير في التركيب نتيجة الحرارة والضغط المتولد عن حركات القشرة الأرضية . ويبلغ عمر هذه الصخور باستخدام طرق التأريخ الكربوني أو اليورانيوم المشع حوالي $10^6 - 10^8$ سنة ، بينما يبلغ عمر كوكب الأرض حوالي 4.5×10^9 سنة . وتتكون معظم الصخور من السيليكات بنسبة 90% ثم الأكاسيد والكبريتيدات والكربونات والكبريتات والكلوريدات .

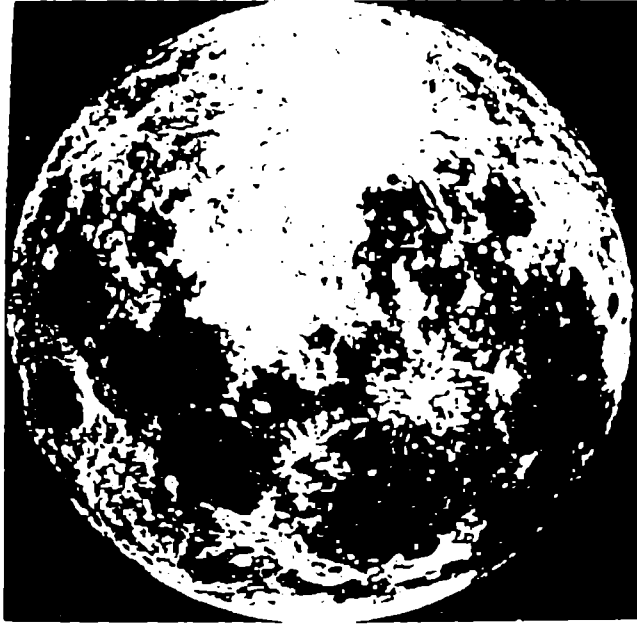
المجال المغناطيسي الأرضي :

يشبه المجال المغناطيسي للأرض شكل المجال المغناطيسي عن قضيب مغناطيسي، ويميل محور الأرض المغناطيسي على محورها الدوراني بحوالي 12°تقريباً (وله حركة ترنحية مع مرور الوقت) . أما أصل هذا المجال المغناطيسي فيعود في الحقيقة إلى وحود تيارات لمصهور الحديد المتأين في اللب الخارجي للأرض السريعة الدوران حول نفسها، مما ينتج عنه نشوء تيارات كهربائية . لها شدة معينة، وحسب قانون (أمبير) في المغناطيسية ينتج مجال مغناطيسي يعتمد طردياً على شدة التيار الكهربائي .

والجدير بالذكر فإن درجة الحرارة تزداد في داخل الأرض بمعدل درجة مئوية واحدة لكل 30 متر .

المجال المغناطيسي للأرض موضحاً عليها احزمة فان الن

ويعتقد العلماء أن شدة المجال المغناطيسي تتناقص تدريجياً مع الزمن ويعكس اتجاهه كل بضعة آلاف من السنوات . ويمتد المجال المغناطيسي الأرضي من باطن الأرض إلى أعلى طبقات الغلاف الجوي الأرضي، حيث يتفاعل مجال الأرض المغناطيسي مع المجالات المغناطيسية المصاحبة للرياح الشمسية المكونة من جسيمات مادية مشحونة متحركة فينتج مجال مغناطيسي جديد يدعى المغنيتوسفير Magnetosphere والذي يمتد لأكثر من 80 الف كيلو متر باتجاه الشمس . وتعمل هذه الطبقة على منع الجسيمات المشحونة كالبروتونات والالكترونات والميونات والبايونات من الوصول للأرض فتحرفها عن مسارها بفعل قوى المغناطيسية وبذلك تحمي الكائنات الحية من أخطارها . وتحاط الأرض بحزامين رقيقين يدعيان أحزمة فان ألن، الداخلي على بعد 3200 كم والخارجي على بعد 16 الف كيلو متر من سطح الأرض، حيث تحجز البروتونات الموجبة والالكترونات السالبة في تلك الأحزمة بتراكيز عالية، وتدور هذه الجسيمات بشكل حلزوني مع خطوط القوى المغناطيسية الأرضية، حيث ترتد من نصف الكرة الشمالية إلى نصف الكرة الجنوبية خلال بضعة أيام وأسابيع مكوِّنة الشفق القطبي عندما تتفاعل هذه الدقائق المشحونة مع جزيئات الهواء حيث يتوهج الجو بألوان زاهية.

5:4 القمر The Moon

للأرض قمر واحد يدور حولها باستمرار بينما هي تدور حول الشمس، وعلى الرغم من صغر حجمه وكتلته بالنسبة للأرض فإنه يؤثر عليها بطريقة ملفتة للنظر كما هو الحال في (المد والجزر)، ونتيجة لقربه من الأرض تعرَّف الإنسان إليه منذ القدم، عن طريق المشاهدة البصرية لمعرفة الكثير عن تضاريسه، وأطواره (من محاق إلى هلال ...إلى تربيع ...) خلال الشهر الواحد، وحركته الواضحة على مسار الشمس الظاهري . ومن المعلوم أن القمر يتأخر كل ليلة عن موعد ظهوره في اليوم السابق بحوالي 51 دقيقة تقريباً، كما أن جزءاً من القمر دائماً يواجه سكان الأرض بينما الجزء الآخر مختفي باستمرار .

صورة للقمر موضح عليها الفوهات البركانية

وأهم الخصائص الطبيعية المعروفة لقمر الأرض ما يلي :

متوسط بعده عن الأرض 60 مرة نصف قطر الأرض . والشذوذ في مركزية المدار 0.55 وميل مستوى مداره على الاكلبتك '9 °5 وفترة الدوران حول الأرض 27.32 يوم (الدورة النجمية عكس عقارب الساعة) أما دورته الاقترانية فتساوي 29.53 يوم . وفترة الدوران حول

محوره 27.32 (طول اليوم القمري) عكس عقارب الساعة، وميل دائرة استوائه على مستوى مداره °1.5 ، ومعدل سرعته المدارية حول الأرض 1.029 كم/ث، ومعدل القطر الظاهري '31 = "5.2"، ومعدل القطر الحقيقي 0.27 من قطر الأرض، وكتلة القمر 0.01 من كتلة الأرض . ومعدل الكثافة 3.34 غم/سم^3 (يدل على عدم وجود لب كثيف وعدم حدوث عملية ترسيب تفاضلي) . وسرعة الهروب من الجاذبية 2.4 كم/ث، أما درجة حرارته فتبلغ °100 K (الجانب الليلي) و °400 K (الجانب النهاري) ومعامل بياضه 0.07 .

المجال المغناطيسي :

غير موجود، ربما بسبب عدم وجود لب مصهور، كما أن سرعة دورانه حول نفسه بطيئة .

الغلاف الجوي :

لا يوجد غلاف غازي مطلقاً ولا يوجد غيوم أو رياح في سمائه وتبدو سمائه سوداء، ولا يوجد ماء أو أية حياة نباتية أو حيوانية ولا توجد عوامل تعرية كما هو الحال على سطح الأرض حيث حواف صخوره حادة .

التركيب الجيولوجي :

يلاحظ المراقب لسطح القمر من خلال التلسكوب وجود مناطق مضيئة وهي الجبال العالية والمرتفعات حيث تعكس ضوء الشمس جيداً، وهناك مناطق تبدو لنا معتمة وهي تشكل الوديان والسهول الممتدة بين المرتفعات ويكون كمية الضوء المنعكس منها قليل نسبياً .

ويغطي سطحه الفوهات البركانية (Craters) وهي حفر مخروطية الشكل، قديمة التكوين نتيجة اصطدام النيازك بسطح القمر عندما كان طرياً في بداية تصلبه وتتراوح أقطار هذه الفوهات من 1 كم وأصغر من ذلك إلى 100 كم تقريباً .

ويوجد غبار سمكه بضع انشات على سطح القمر وتحته طبقة تدعى ريجوليث (Regolith) سمكها بضع أقدام تتكون من فتات وأجزاء صخرية معدنية متماسكة بقوة ضعيفة، لها مظهر زجاجي وهناك الصخور النارية (بازلتية) التي نتجت عن اللافا التي بردت تدريجياً منذ أربعة بلايين عام مضت وهي رمادية من أصل بركاني وهناك نوع آخر من الصخور تدعى (برشيا) (Breccia) وهي بيضاء اللون مكونة من الكربونات المعدنية، تكونت بالتحام أجزاء صغيرة من الصخور القديمة بعوامل الضغط الناتج عن تصادمات النيازك، ولقد تبين من التحليل الكيماوي لعينات صخرية وترابية من القمر النتائج التالية :

أ) أن نسب الوفرة لنظائر بعض العناصر الموجودة في القمر مشابهة لنسبها في صخور الأرض

ب) أن نسب الوفرة لنظائر الأكسجين هي نفسها على الأرض، على الرغم أن العلماء يتوقعون أن نسب نظائر الأكسجين يجب أن تتغير قليلاً من مكان لآخر خلال المجموعة الشمسية . وهذا يدل على أنّ القمر والأرض قد تكونا من نفس المادة الأولية وفي نفس الموقع من المجموعة الشمسية .

جـ) أن نسب الوفرة لنظائر العناصر المتطايرة (مثل اليود) أقل منها على الأرض . ربما لأنها هربت من جو القمر زمن طويل .

د) كانت أعمار الصخور القمرية بطرق التأريخ النووية حوالي 3.7 بليون عام وأما تركيب طبقاته جيولوجياً فهي :

1- **القشرة** : ويتراوح سمكها من (50 - 100) كم، وتتميز بوجود صخور البريشيا والصخور البازلتية .

2- **الوشاح** : ويبلغ سمكها بحدود 1000 كم وتتميز إلى طبقتين هما :

أ) طبقة الليثوسفير : وهي غلاف صلب .

ب) طبقة الاستينوسفير : وهي غلاف شبه مصهور .

3- **اللب** : يبلغ سمكه حوالي 500 كم، وهو أقل كثافة من لب الأرض الداخلي ولا يوجد للقمر لب مصهور أبداً ومع ذلك فإن عملية الترسيب التفاضلي للمعادن قد حدثت على القمر في بداية تكوينه ولا يوجد أي نشاط تكتوني ملموس حالياً على سطح القمر .

أصل القمر

هناك نظريات عدة تبحث في كيفية نشوء القمر أهمها :

أ) نظرية الانشطار (Fission theory) وتنص على أن القمر كان جزءاً من الأرض ولكنه انشطر عنها، وترك مكانه فجوة كبيرة في المحيط الهادي .

ب) نظرية الاصطياد (Capturing Theory) وتنص على أن القمر تشكل في جزء ما من المجموعة الشمسية، وأثناء حركته في الفضاء اقترب من الأرض وامسكت به بفعل قوة الجذب المتبادلة وبقي يدور حول الأرض حتى الآن .

جـ) نظرية الخلق الطبيعي (Creational Theory) وتنص على أن كلاً من القمر والأرض تكونا في نفس مكانيهما الحاليين وما زال القمر يدور حول الأرض منذ أن وجد . وتتناقص نتائج سفينة أبولو القمرية مع النظريتين الأولى والثانية وتؤكد صحة النظرية الثالثة .

4:6 المريخ The Planet Mars

يظهر كوكب المريخ في منتصف الليل تقريباً للمشاهد في المنطقة المحاذية لخط سير القمر (الاكلبتك) على هيئة قرص أحمر ولا يظهر لنا على شكل هلال مطلقاً لأنه خارج مدار الأرض وترينا التلسكوبات سطح المريخ باللون الأحمر (الذي يعود لوجود غبار أكسيد الحديد المنتشر على سطحه)، وقد تظهر فيه مناطق ملونة باللون الرمادي أو الأبيض (اضافة القطبية منها) ومعظم معلوماتنا عن المريخ مستمدة من الرحلات الفضائية التي قامت بها مارينر 7,6,4 منذ عام 1964 م – 1975م حيث هبطت سفينة فايكنج على سطحه وجمعت عينات ترابية وصخرية منه لدراستها على الأرض وإليك أهم خصائصه الطبيعية :

صورة المريخ (المنطقة المتجمدة الجنوبية) كما التقطتها سفينة الفضاء (9) . لاحظ الفوهات وثاني أكسيد الكربون المتجمد .

متوسط بعده عن الشمس 1.5 وحدة فلكية، والشذوذ في مركزية المدار0.09 (وهذه كبيرة بالنسبة للكواكب الأخرى ما عدا بلوتو) . وميل مستوى مداره على الاكلبتك 1.9° وفترة دورانه حول الشمس 687 يوم، (الدورة النجمية عكس عقارب الساعة ومن الغرب إلى الشرق) أما دورته الأقترانية فهي **780** يوماً (الدورة الاقترانية) وفترة الدوران حول محوره $24^{h}\ 37^{m}\ 6^{s}$ عكس عقارب الساعة من الغرب إلى الشرق، وميل دائرة استوائه على مستوى مداره 25.2° (مشابه للأرض في تناوب الفصول الأربعة) ، ومعدل سرعته المدارية حول الشمس 24 كم/ث، ومعدل القطر الظاهري يتراوح ما بين "3.6 - "24.5، ومعدل القطر الحقيقي 0.532 من

قطر الأرض، وأما كتلته فهي 0.107 من كتلة الأرض، ومعدل الكثافة 3.96 غم/سم^3، وسرعة الهروب من الجاذبية 5 كم/ث، ودرجة حرارة سطح المريخ تتراوح ما بين $130\ K^\circ$ إلى $290\ K^\circ$ (بسبب وجود الفصول الأربعة)، ومعامل البياض 0.15، وعدد أقماره قمران هما فوبوس وديموس.

المجال المغناطيسي :

غير موجود مما يدل على عدم وجود لب مصهور بداخله .

الغلاف الجوي :

للمريخ غلاف جوي رقيق نسبياً، بسبب هروب غازاته لقلة جاذبيته، ويبلغ الضغط الجوي على سطحه حوالي 0.006 من الضغط الجوي عند سطح البحر على الأرض . وهذا قليل جداً ويؤدي إلى تبخر الماء إن وجد على سطح المريخ على درجة حرارة قريبة من الصفر المئوي . وكذلك فإن الأشعة الفوق بنفسجية القادمة من الشمس تعمل على تفكيك جزيئات الماء إلى جزيء أكسجين وجزيء هيدروجين حيث يهرب الهيدروجين لخفته، بينما يبقى الأكسجين (الذي يعمل على أكسدة المواد الأخرى) . ولهذا إذا وقف شخص على سطح المريخ غير مجهز بوسيلة تدفئة مناسبة، فإن الدم في جسمه سوف يتبخر، حيث يفقد الشخص حرارة جسمه تدريجياً إلى أن يتجمد . ولهذا اقتنع العلماء بعدم وجود حياة على سطح المريخ ودلت الدراسات أن جو المريخ يتألف أساساً من : غاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة 95%، وغاز النيتروجين بنسبة 2.7%، وغاز الآرغون بنسنة 1.6% ويوجد غازات أخرى كالأكسجين وبخار الماء بنسبة أقل من 1% . وبالنسبة لوجود المياه فيعتقد العلماء أنه هناك كميات كبيرة من الماء بدليل وجود القنوات المائية ولكن ربما تبخر للجو بسبب انخفاض الضغط الجوي على سطحه أو تسربه لأعماق سحيقة في باطن الكوكب . وبسبب ميلان محوره على مستوى مداره، تنتج ظاهرة الفصول الأربعة بالتناوب المعروف على الأرض حيث تزداد مساحة المنطقة القطبية المتجمدة (الجليد أو ثاني أكسيد الكربون المتجمد) في فصل الشتاء نصف الكرة الشمالي للمريخ وتتراجع مساحتها صيفاً إلى أن تختفي تماماً . ويرى في جوه أنواع مختلفة من السحب بصفة دورية من بينها سحب غبارية هائلة يميل لونها نحو الإصفرار تهب بسرعة ما بين 35 إلى 50 كم/ساعة . وهناك سحب بيضاء ربما تتكون من بلورات ثلجية من الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون .

تضاريس كوكب المريخ :

تغطي السهول حوالي 40% من سطح الكوكب (كما ترى من المناطق الشمالية) وتنتشر مقذوفات الحمم البركانية (اللافا) على السطح والغنية بأكسيد الحديد، وقد تنتج من تفتت

الصخور النارية بفعل الرياح وتوجد المناطق الجبلية والمرتفعات في المناطق الجنوبية حيث تكثر الندوب (الحفر البركانية) المنتشرة بغزارة والتي ربما تكونت نتيجة اصطدام نيازك بسطح المريخ.

تركيب المريخ الجيولوجي :

يعتقد العلماء أن جيولوجية المريخ تشبه إلى حد ما جيولوجية كوكبي الزهرة والأرض من حيث وجود طبقات القشرة والوشاح واللب مع بعض الاختلافات الواضحة . فمثلاً لم يجد العلماء أي نشاط تكتوني على سطح المريخ ولهذا استدل العلماء بأن قشرة كوكب المريخ ربما تكون أكثر سمكاً وصلابة من قشرة الأرض .

هذا وأن وجود أكسيد الحديد، على سطحه (الناتج عن تحلل الصخور البازلتية (النارية) بعوامل عديدة وحمم البراكين يدل على أن هذا الكوكب لم يحدث عليه عمليات ترسب تفاضلية للمعادن ربما لأن القشرة لم تكن مصهورة بشكلٍ كافٍ لتساعد على ترسيب المعادن الثقيلة في باطنه . ويعتقد العلماء أن لب المريخ لا يحتوي على قلبٍ من الحديد والنيكل ذو الكثافة العالية كما هو الحال في كوكبي الأرض والزهرة . ولا يوجد عند المريخ طبقة لب مصهور .

اقمار المريخ :

اكتشفت أقماره عام 1877 م باستخدام التلسكوبات حيث يرى القمر الأبعد (ديموس) بسهولة بسبب قوة انعكاس ضوء الشمس على المريخ بينما يصعب رؤية القمر الأقرب (فوبوس) في أغلب الأحيان . وإليك خواصهما الطبيعية :

1- فوبوس (Phobos) :

وهو الأقرب للمريخ، ويدور حول المريخ بنفس النظام الذي يدور به القمر حول الأرض . وتبلغ فترة دورانه حول المريخ (7^h 39^m) ولذلك يواجه المريخ دائماً بوجه واحد وشكله غير منتظم، إذا يبلغ طوله 28 كم وعرضه 20 كم . ويحتوي على فوهات بركانية كبيرة (قطره من 100م – 200م ، وعمقها من 10م – 20م وكتلته صغيرة جداً (اقل من 0.01 من كتلة المريخ) ولا يوجد أي نشاط تكتوني عليه حالياً .

2- ديموس (Deimos) :

وهو القمر الخارجي للمريخ ويدور حول المريخ بحيث يظهر دائماً بوجه واحد (حركة الدوران الأسري) وتبلغ فترة دورانه حول المريخ (30^h 18^m)، وشكله غير منتظم (إذ يبلغ طوله 16 كم وعرضه 10 كم) ، ولا يحتوي على فوهات بركانية كبيرة . وكتلته صغيرة جداً، ولا يحتوي على أي نشاط بركاني حالياً . وكلا القمرين أصغر من كتلة قمر الأرض وربما تكونت أصلاً في حزام الكويكبات ثم اصطادها المريخ .

4:7 كوكب المشتري The Planet Jupiter

يشكل كوكب المشتري مع زحل وأورانوس ونبتون مجموعة الكواكب العملاقة والتي تتميز بحجمها الكبير، وكتلتها الكبيرة، وكثافتها القليلة ومن الأرض يبدو المشتري للمشاهد بالعين المجردة، كقرص أصفر لامع يتحرك ببطء في منطقة البروج . ويأتي في الدرجة الثانية بعد الزهرة من حيث لمعانه ويمكن مشاهدته كل ليلة لمدة ستة شهور تقريباً في السنة . وأما المشاهدة بالتلسكوبات فيظهر عليه خطوط مضيئة يتدرج لونها من الأصفر الباهت إلى الأحمر القاني أما في أقصى الشمال والجنوب فتحيط به أحزمة مظلمة نسبياً تتدرج من البني إلى الأزرق المعتم .

ولقد أُطلِقت نحوه سفن فضائية عديدة أهمها بيونير - 10 عام 1972م وبيونير - 11 عام 1979 م وعرف عنه الكثير من المعلومات الضرورية للفلكيين وإليك أهم الخصائص الطبيعية لكوكب المشتري :

صورة كوكب المشتري كما التقطتها سفينة الفضاء بيونير 10

متوسط بعده عن الشمس 5.2 وحدة فلكية، والشذوذ في مركزية المدار 0.048 وميل مستوى مداره على الأكلبتك $1^{\circ}\ 18'\ 18''$ ، وفترة الدوران حول الشمس 11.86 سنة (الدورة النجمية) وأما دورته الاقترانية فهي 398.9 يوم .

وفترة الدوران حول المحور $9^{h}\ 54^{m}$ (عكس عقارب الساعة من الغرب إلى الشرق)، وميل دائرة استوائه على مستوى مداره $3^{\circ}\ 7'$ (محوره يميل على مستوى مداره بضع درجات)،

ومعدل سرعته المدارية حول الشمس 13 كم/ث، والقطر الظاهري (الزاوي) "48.86، والقطر الحقيقي 10.79 من قطر الأرض، وتبلغ كتلته 318 من كتلة الأرض، ومعدل الكثافة 1.3 غم/سم^3 (ربما يكون معظمه سائل)، وسرعة الهروب من الجاذبية 60 كم/ث (لا بد من وجود غلاف جوي سميك) ، ودرجة الحرارة تبلغ $130\ K^{\circ}$ (للطبقات العليا من الغيوم)، ومعامل البياض 0.51، عدد أقماره 14 قمراً .

المجال المغناطيسي :

يوجد مجال مغناطيسي لكوكب المشتري، تعادل شدته 10 مرات من شدة المجال المغناطيسي للأرض ويميل محوره المغناطيسي على محوره الدوراني (الوهمي) بزاوية 11°، ويعتبر كوكب المشتري مصدر مهم للإشعاعات الراديوية المختلفة، ويبعث طاقة حرارية أكثر من ضعف ما يستقبله من الشمس .

الغلاف الجوي :

تدل الدراسات الطيفية التي أخذت للمشتري بواسطة المجسات الفضائية التي اقتربت منه على أن غلافه الجوي يتكون من المركبات التالية :

الهيدروجين H_2 بنسبة 82% ، والهيليوم He بنسبة 17% ، الأمونيا NH_3 والميثان CH_4 بنسبة 1% كما يوجد الماء والآرغون والأيثان والأستلين كشوائب .

وتظهر الصور الفوتوغرافية التي التقطت لجو المشتري أنه يتركب من أحزمة (خطوط سوداء) في طبقات الجو العليا حيث الضغط الجوي منخفض، وتتحرك فيها الغازات إلى داخل الكوكب. وهناك المناطق المضيئة وهي عبارة عن مناطق ذات ضغط جوي مرتفع تتحرك فيها الغازات من داخل الكوكب إلى خارجه. ويعتمد لونها على درجة تركيز الغازات المختلفة حسب الضغط ودرجة الحرارة حيث توجد الأمونيا على شكل بلورات صلبة تشكل الأحزمة الملونة. وبسبب دوران الكوكب السريع حول نفسه يعمل على ظهور هذه الأحزمة والشرائط المختلفة الألوان. وهناك منطقة مميزة في جوه تدعى البقعة الحمراء الكبرى The Great Red Spot وهي في نصف الكرة الشمالي للكوكب بيضاوية الشكل ولا تغير وضعها بل تدور مع الكوكب ولونها يتأرجح ما بين الوردي (Pink) والبرتقالي (orange) ويبلغ طولها حوالي 48 الف كم وعرضها 24 ألف كم .

ويعتقد العلماء أنها نظام من العواصف الشديدة في جو المشتري، وما زال العلماء غير متأكدين من طبيعتها .

التركيب الجيولوجي :

يعتقد العلماء أن المشتري يتكون من المناطق التالية :

أ) **القشرة** : وهي غلاف من مادة الهيدروجين السائلة تحيط بسطح الكوكب ويبلغ سمكها حوالي 33% من نصف قطره، حيث يصل الضغط على هذا العمق حوالي 3 مليون ضغط جوي عادي وترتفع درجة الحرارة مع العمق إلى أن تصل 10 آلاف درجة مطلقة .

ب) **الوشاح** : ويعتقد العلماء أنها تتكون من معدن الهيدروجين حيث بسبب الضغط الشديد تقترب جزيئات الهيدروجين من بعضها لتشكل حالة من المادة شبه الصلبة .

جـ) **اللب** : ويعتقد العلماء بأنه صخري يحتوي على معظم المعادن الثقيلة (ويؤكد حدوث عملية الترسيب التفاضلي للمعادل) وتصل درجة حرارة اللب إلى 30 ألف درجة مطلقة وضغط حوالي 32 مليون ضغط جوي عادي . وأما كتلة اللب فتقدر بحوالي 20 مرة من كتلة الأرض محصورة في حجم يعادل0.5% من حجم كوكب المشتوي كله . وبناءً على ذلك يبدو أن حركة الأيونات المشحونة في طبقة الهيروجين السائلة هي السبب المباشر لوجود مجال مغناطيسي قوي للمشتري .

أقمار المشتري :

يوجد حوالي 14 قمراً تدور حول المشتري، وتدعى الأقمار الأربعة القريبة من المشتري بأقمار غاليليو الذي كان أول من اكتشفها عام 1610م . وأطلق عليها الأسماء أيو (Io) وأوروبا (Europa) وجانميد (Ganymede) وكاليستو (Callisto) وهناك القمر الخامس أماليثيا (Amalthea) الذي اكتشف عام 1892 م وأما القمر الرابع عشر 14 - J فلقد اكتشف عام 1975 م . وتتميز هذه الأقمار إلى ثلاث مجموعات :

أ) **الأقمار الداخلية** : وتشمل أقرب خمسة أقمار للمشتري ومنها أقمار غاليليو) حيث تدور في مدارات شبه دائرية وبفترات دورانية تتراوح ما بين$1\frac{3}{4}$ يو م إلى$16\frac{2}{3}$ يوم وهي تتبع في حركتها نظام الدوران الأسري لقمر الأرض . ولذلك تظهر بوجه واحد للمشاهد على المشتري دائماً . وأقمار غاليليو أكبر حجماً من قمر الأرض ولذلك قد ترى بالعين المجردة أو بالتلسكوب ، ويُعد اماليثيا أقربها للمشتري ثم أيو ثم أوروبا ثم جانميد ثم كاليستو . وتقل كثافة هذه الأقمار تدريجياً مع زيادة بعدها عن المشتري . ويغطي سطوحها الثلوج والحفر المخروطية (Craters) والبراكين الكبريتية النشطة، وبسبب قوى المد والجزر بين المشتري وأقماره يظهر نشاط بركاني عليها نتيجة الإحتكاك الداخلي في طبقاتها . ويقل

هذا النشاط التكتوني عليها تدريجياً كلما ابتعدنا عن المشتري . وتصبح سطوحها أقل تغيراً مع الزمن .

ب) **الأقمار الوسطى** : وتشمل القمر السادس إلى التاسع $(J_6 \rightarrow J_9)$ ومعظمها صغيرة الحجم، يبلغ قطرها حوالي 100 كم، وتدور حول المشتري بفترة زمنية تبلغ في المعدل حوالي 270 يوم

جـ) **الأقمار الخارجية** : وتشمل القمر العاشر إلى القمر الرابع عشر وتتميز بأنها تدور في مدارات إهليجية ذات شذوذية مركزية كبيرة، وتميل مستويات مداراتها على الأكلبتك بحوالي 3° إلى 9° تقريباً . حيث يعتقد العلماء أن أصل تكوينها يختلف عن تكوين الأقمار الداخلية. وربما تكون من الكويكبات التي تسبح في الفضاء حيث اقتربت من المشتري فجذبها نحوه لتدور في مدارات ثابتة حوله. وتدور حول محورها مع عقارب الساعة على عكس بقية الأقمار والكواكب الأخرى .

4:8 كوكب زحل The Planet Saturn

يُعد كوكب زحل آخر الكواكب السيارة المعروفة منذ القدم ومن أجمل الكواكب منذ أن أُخْتُرِع التلسكوب على يد غاليليو عام 1610 م، حيث تحيط به هالة من الحلقات الذهبية اللون، وإذا نظرنا إليه بالعين المجردة فإنه لا يزيد عن كونه مجرد نقطة صفراء خافتة غير مميزة . وهو أحد الكواكب العملاقة بعد المشتري، ويمكن رؤيته دائماً في الليل بعد العاشرة مساءٍ في المنطقة المحاذية لمسار القمر. واستخلص العلماء معلومات كثيرة عن طريق المجسات بيونير 11 الذي اقترب من الكوكب في أيلول 1979م والتقط له صوراً . وكما وصل إليه المجس فوياجر1، وكما وصل إليه المجس فوياجر2 عام1981م، وإليك أهم خصائصه الطبيعية:

صورة لزحل كما التقطها تلسكوب عاكس قطره 100 انش على جبل ولسن . لاحظ الأحزمة والحلقات .

متوسط بعده عن الشمس 10 وحدة فلكية، والشذوذ في مركزية المدار 0.0557، وميل مستوى مداره على الأكلبتك "22.6 '29 °2 وفترة الدوران حول الشمس 29.46 سنة (الدورة النجمية عكس عقارب الساعة) وأما دورته الإقترانية فهي 378 يوم، وفترة الدوران حول المحور $10^h\ 14^m\ 24^s$ (عكس عقارب الساعة) ، ميل دائرة استوائه على مداره "45 °26(ميلان المحور على مستوى مداره ينتج عنه الفصول الأربعة)، ومعدل سرعته المدارية حول الشمس 9.65 كم/ث . والقطر الظاهري (الزاوي) "19.27 والقطر الحقيقي له 8.9 مرة من قطر الأرض، وتبلغ كتلته 95 مرة من كتلة الأرض، ومعدل الكثافة 0.68 غم/سم^3 ، وسرعة الهروب من الجاذبية 36 كم/ث، ودرجة الحرارة °K 95 للطبقات العليا من الغيوم . ومعامل البياض 0.61 عدد أقماره 17 قمراً .

المجال المغناطيسي :

تمكنت المجسات الفضائية المختلفة التي اقتربت من الكوكب من قياس شدة المجال المغناطيسي فوجدته أقوى من شدته على الأرض . كما أن محوره المغناطيسي ينطبق على محوره الدوراني (عكس الأرض والمشتري) ولذلك استنتج العلماء وجود منطقة مغنيتوسفير حول الكوكب، وأحزمة تشبه أحزمة فان آلن حول الدائرة الاستوائية تتجمع بها الدقائق المادية المشحونه (كالإلكترونات والبروتونات وغيرها) .

الغلاف الجوي : (H_2 بنسبة 88%، He ‎11% ، C_2H_6 بنسبة 0.6%، NH_3 بنسبة 0.2%).

يتميز كوكب زحل بوجود غلاف جوي ثقيل، ومناطق متلألئة ونطاقات من الغيوم وأما تكوينه الكيماوي فهو يتركب من غاز الميثان CH_4، وغاز الهيدروجين H_2، وأما الأمونيا NH_3 فهي غير موجودة في الجو ويحتمل انها تكاثفت على شكل بلورات ثلجية صلبة في أحزمة الغيوم المختلفة بسبب برودة زحل الكبيرة ولقد وجد أن غاز الإيثان C_6H_6 قد تكوّن في جوّه . هذا ويسبب ميل محوره على مستوى مداره، يظهر اختلاف في تسخين أشعة الشمس لسطح زحل حيث يؤدي إلى وجود الفصول الأربعة المتناوبة، ونشوء الرياح السريعة جداً، التي تساعد على ظهور الأحزمة الملونة مع صعود وهبوط التيارات الهوائية .

يوجد لزحل سبع حلقات مرتبة من الأبعد للأقرب إلى الكوكب ويرمز لها بالرموز , A , B , C , D, E, F , G حيث الثلاث البعيدة منها لامعة مرئية من الأرض (A , B , C) والبقية معتمة .

أما طبيعة هذه الحلقات فهي تتكون من رمال واتربة وشظايا مغلفة بطبقة جليدية صغيرة الحجم يتراوح أقطارها ما بين بضعة سنتمترات (الحلقات الخارجية) إلى بضعة أمتار (الحلقات الداخلية) تتوزع في شكل طبقي رقيق مميز . وتدور هذه الجسيمات في مدارات إهليجية حيث يكون لكل منها سرعته الخاصة، ومداره الخاص . ويعتقد العلماء أن أصل هذه الحلقات ربما نتج عن بقايا أحد الأقمار التي كانت تابعة لزحل والذي تواجد قريباً من زحل (نهاية روجيه Roche's Limits) حيث أصبحت المسافة بين القمر ومركز الكوكب أقل من (2.44) مرة من نصف قطر الكوكب، وعندها ينشطر هذا القمر إلى فتات متناثرة بفعل قوى المد والجزر بينهما . وربما كانت هذه الجسيمات بقايا من الغيمة السديمية الأولى التي تشكلت منها المجموعة الشمسية، ولم تتمكن هذه المادة الغازية من التكاثف لتكوين قمر بفعل قوى المد والجزر أيضاً داخل نهاية روجيه ويقدر العلماء كتلة هذه الحلقات بحوالي واحد بالمليون من كتلة قمر الأرض . وتقع جميع هذه الحلقات بموازاة الدائرة الإستوائية للكوكب والتي تميل بزاوية حوالي 27° على الأكلبتك، ولذلك يمكن للمشاهد على الأرض رؤيتها باتجاهات مختلفة طوال العام ، وتختلف لذلك طريقة عكسها لضوء الشمس فمنها ما يعكسه للخلف وترى لامعة ومنها ما يعكسه للأمام فتظهر معتمة .وتعكس حلقات زحل 60% من أشعة الشمس الساقطة عليها .

التركيب الجيولوجي :

1- **القشرة** : وتتكون من غلاف سميك من مادتي الهيدروجين والهيليوم السائلة .

2- **الوشاح** : وتتكون من غلاف شبه صلب ويعتقد بأنه مكون من طبقة من الهيدروجين المعدني حيث تقاربت جزيئات الهيدروجين من بعضها بفعل الضغط الشديد الواقع عليها.

3- **اللب** : ويعتقد بأنه مكون من غلاف صخري صلب، كما في المشتري، وربما يكون في معطمه من المعادن الثقيلة كالحديد وغيره .

اقمار زحل :

لزحل 17 قمراً، معظمها صغير الحجم ولا ترى من الأرض مباشرة . وأكبر أقماره تيتان Titan حيث يتميز بالخواص التالية :

أ) له غلاف جوي سميك، بسبب جاذبيته الكبيرة، وبرودته، يتكون من غاز الميثان CH_4 وقد يتواجد على شكل سائل أو صلب على سطحه ويوجد غاز النيتروجين N_2 وربما كان مصدره بركاني .

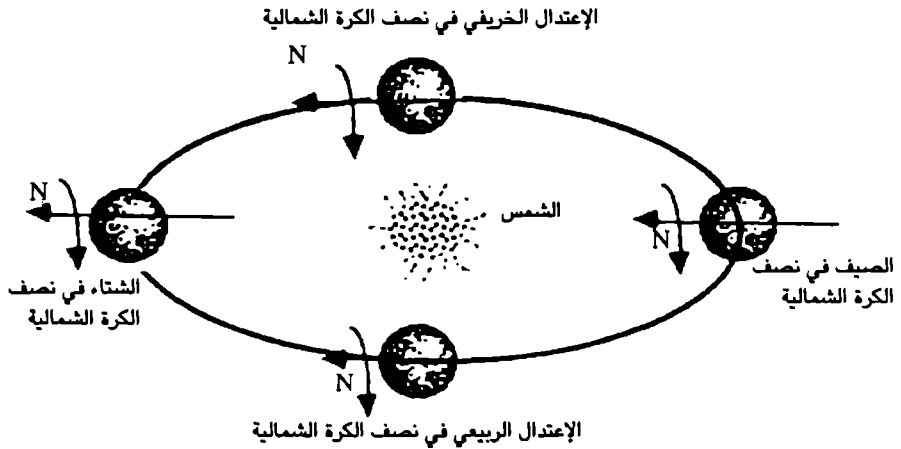
ب) يبلغ سمك غلافه حوالي 5 أضعاف ارتفاع الغلاف الجوي الأرضي وأما ضغطه الجوي فيبلغ حوالي 1.5 ضغط جوي أرضي .

جـ) تبلغ درجة حرارته 90° K .

د) تبلغ كثافة القمر تيتان حوالي 2 غم/سم^3 أي نصفه صخري ونصفه جليدي .

4:9 كوكب أورانوس The Planet URANUS

يُعد أورانوس من الكواكب الغازية العملاقة، ولقد اكتشف لأول مرة على يد العالم وليم هرشل (William Hershel) عام 1781 م حيث ظهر له كقرص أخضر مزرق، ويمكن رؤيته بالعين المجردة بصعوبة حتى مع توفر ظروف الرؤيا المناسبة نظراً لبعده الشاسع عن الشمس. ويدور حول نفسه مع عقارب الساعة ويظهر أنه يميل كثيراً على جانبه، وكأنه يتدحرج في مداره حول الشمس بينم تدور توابعه حوله .

ولقد لوحظ شذوذ في حركته، مما جعل العلماء يفترضون وجود كوكب ثقيل جداً يؤثر عليه، وفعلاً تم اكتشاف كوكب نبتون عام 1846م ولقد مرّ المجس فوياجر -2 بالقرب من كوكب أورانوس في عام 1986م حيث صادف وجود الكواكب جميعها على امتداد خط واحد تقريباً بالنسبة للشمس والتي تحدث مرة كل 177 عام .

وإليك أهم الخصائص الطبيعية المعروفة :

متوسط بعده عن الشمس 20 وحدة فلكية، والشذوذ في مركزية 0.0472، وميل مستوى مداره على الأكلبتك "23.1 '46 0° (أي أقل من درجة واحدة)، وفترة الدروان حول الشمس

84.01 سنة (الدورة النجمية) عكس عقارب الساعة مثل بقية الكواكب . وأما دورته الإقترانية 369.66 يوماً وفترة الدوران حول المحور 16^h (مع عقارب الساعة) عكس بقية الكواكب، وميل دائرة استوائه على مستوى مدارة 97° 53 أ(ي أن محوره يميل ثماني درجات تحت مستوى مداره)، ومعدل سرعته المدارية حول الشمس 6.7 كم/ث، ومعدل القطر الظاهري (الزاوي) "3.58 (ثانية قوسية) ومعدل القطر الحقيقي له 4 مرات من قطر الأرض، وتبلغ كتلته 14.6 مرة من كتلة الأرض، ومعدل الكثافة 1.2 غم/سم^3 ، وسرعة الهروب من الجاذبية 21 كم/ث ، ودرجة الحرارة فتبلغ $95\ K^\circ$ (للطبقات الجوية العليا) ومعامل البياض 0.35 ، وعدد أقماره 5 أقمار .

المجال المغناطيسي :

دلت البيانات التي أرسلها فوياجر -2 أن لأورانوس مجالاً مغناطيسياً تبلغ شدته شدة المجال المغناطيسي الأرضي، وأن زاوية انحراف المحور المغناطيسي له كبيرة إذ تبلغ 55° مع محوره الدوراني، ولا يمر المحور المغناطيسي بمركز الكوكب، بل يبتعد عنه بضعة آلاف من الكيلومترات .

الغلاف الجوي :

تدل الدراسات الطيفية على وجود غازات الهيدروجين والهيليوم والميثان ولا توجد الأمونيا على شكل غاز، بل ربما تكون قد ترسبت على شكل بلورات ثلجية كما حدث في زحل .

التركيب الجيولوجي لأورانوس :

تدل البيانات التي حصل عليها العلماء أن تركيبه يشبه كلاً من زحل والمشتري ما عدا عدم وجود طبقة من الهيروجين المعدني داخل أورانوس وذلك لعدم توفر الضغط الكافي لذلك، ويعتقد العلماء أنه يتكون من :

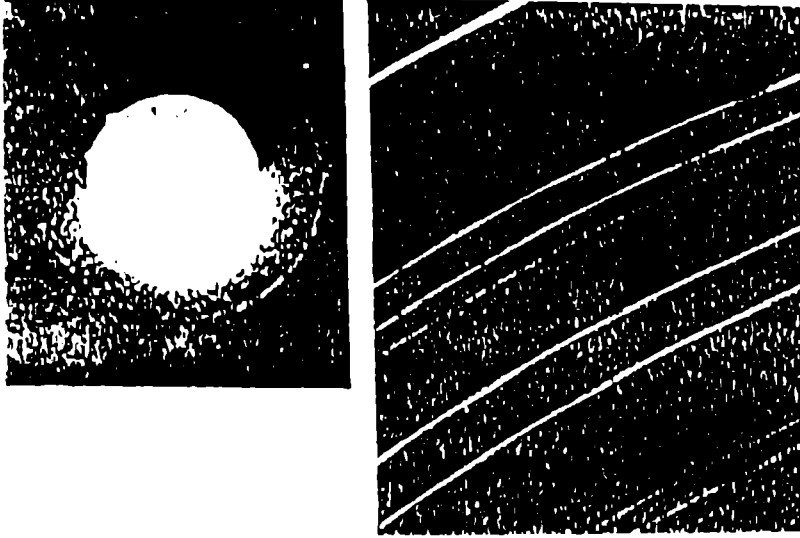
أ) القشرة : وهي غلاف من الهيدروجين والهيليوم السائل

ب) الوشاح : وهي غلاف صلب يتكون من الجليد المتجمد .

جـ) اللب : وهو غلاف صخري يحتوي على معظم العناصر المعدنية الثقيلة .

أقمار أورانوس :

يظهر في سماء كوكب أورانوس خمسة أقمار وهي : أوبورن (Oberon) وتيتانيا(Titania) وهما أكبر توابعه، وكان السير وليم هرشل قد اكتشفها عام 1787 م وهناك القمر ميراندا

(Miranda) الذي اكتشف عام 1948 م وهو أقربها وهناك أرييل (Ariel) وأمبريل (Umbriel).
وجميع هذه الأقمار تدور في مستوى موازي لدائرة أورانوس الإستوائية مع عقارب الساعة .
وتتراوح أقطار هذه الأقمار ما بين 600 – 1600 كم . ولا يعرف كتلة وكثافة هذه الأقمار بعد .

صورة لكوكب أورانوس موضحاً عليه الحلقات

حلقات أورانوس :

تم في عام 1977م اكتشاف خمسة حلقات معتمة تحيط بكوكب أورانوس وتقع جميعها داخل مدار القمر ميراندا وتتكون من جسيمات مادية (ترابية، رملية، مغلفة بطبقة من الجليد) تقوم بعكس ضوء الشمس إلينا على الأرض حتى نتمكن من رؤيتها بالتلسكوبات وتُعد هذه الحلقات أكثر رقة وأقل كتلة من حلقات زحل . ولذلك لا تعكس إلا 2% من أشعة الشمس التي تسقط عليها .

4:10 كوكب نبتون The Planet Neptune

لقد تم التنبؤ بوجود كوكب نبتون قبل رصده فعلاً في السماء، حيث لاحظ العلماء انحرافاً غريباً في مدار كوكب أورانوس . خاصة العالم هرشل الذي حسب مدار كوكب أورانوس باستخدام قوانين نيوتن في الجاذبية والحركة وعندما قارنه بمواقعه المرصودة لفترة تزيد على 90 سنة والمدونة في الخرائط النجمية التي عملها الآخرون في القرنين السادس عشر والسابع عشر وجد اختلافاً بسيطاً بحوالي 2 دقيقة قوسية. عندها اقترح أحد العلماء أنه يمكن تفسير

ذلك بافتراض وجود كوكب مجهول يؤثر عليه، حيث حددوا مكانه على وجه التقريب وفعلاً تم رصد الكوكب الجديد نبتون عام 1846م . ويظهر كوكب نبتون تلسكوبياً فقط على شكل قرص صغير باهت أخضر مزرق، وإليك أهم خصائصه الطبيعية المعروفة حتى الآن :

الخصائص الطبيعية لكوكب نبتون :

متوسط بعده عن الشمس 30 وحدة فلكية، والشذوذ في مركزية المدار 0.0086، ميل مستوى مداره على الأكلبتك "23.5 '46 1° (أي أقل من درجتين) ، فترة الدوران حول الشمس 164.8 سنة (الدورة النجمية) وأما دورته الإقترانية فهي 367.49 يوماً ، وفترة الدوران حول محوره 18^h، وميل دائرة استوائه على مستوى مدارة $48\ 28^\circ$، ومعدل سرعته المدارية حول الشمس 5.5 كم/ث، ومعدل القطر الظاهري (الزاوي) "2.13 (ثانية قوسية) ، ومعدل قطره الحقيقي 3.8 مرة من قطر الأرض، وتبلغ كتلته 17 مرة من كتلة الأرض، ومعدل الكثافة 1.7 غم/سم^3 ، وسرعة الهروب من الجاذبية 24 كم/ث، وتبلغ درجة حرارته $50\ K^\circ$ للطبقات الجوية العليا)، ومعامل البياض 0.35 ، وله قمران .

المجال المغناطيسي :

يتوقع العلماء وجود مجال مغناطيسي لكوكب نبتون حيث يحتمل وجود كميات ضخمة من الهيدروجين أو الهيليوم السائل الذي يعمل على نقل الشحنات الكهربائية الأيونية في باطن الكوكب أثناء دوران الكوكب حول نفسه، مما ينشأ عنه مجال مغناطيسي .

الغلاف الجوي :

يحتوي كوكب نبتون على غلاف جوي سميك، بدليل أن معامل بياضه كبير نسبياً، وتبين للعلماء أن غلافه الجوي يحتوي على غازات الهيدروجين والهيليوم والميثان، وهو السبب في إعطائه لوناً أخضر، وأما الأمونيا فقد ترسبت على سطح الكوكب بفعل البرودة الشديدة . ولا يوجد فيه اضطرابات موجية أو أعاصير على سطحه .

التركيب الجيولوجي :

من المحتمل أن يكون تركيبه مشابهاً لتركيب أورانوس باستثناء احتواء نبتون على لب أكبر حجماً وكتلة . لأن كثافته العامة أكبر من كثافة أورانوس .

أقمار نبتون : يدور حول نبتون قمران عجيبان هما :

أ) **ترايتون Triton** : اكتشف عام 1846م وهو أكبر حجماً من كوكب عطارد ويعادل حجم المريخ وله غلاف جوي سميك يحتوي على غاز الميثان، ويبلغ قطره حوالي 7200 كم

ويدور حول نبتون مع عقارب الساعة (حركة تقهقرية) بالنسبة لنبتون . ويكمل دورته حول نبتون خلال 6 أيام . ويميل مستوى مداره على الأكلبتك بحوالي 20° ومداره دائري وهو الأقرب إلى كوكب نبتون .

ب) نيريد **Neried** : اكتشف عام 1949م، وهو أصغر حجماً من ترايتون، ويبلغ قطره حوالي 600 كم، ومداره إهليجي ذو شذوذية مركزية كبيرة، ويدور حول نبتون عكس عقارب الساعة مثل بقية الكواكب، ويميل مستوى مداره على الأكلبتك بزاوية 28° ويكمل دورة واحدة حول نبتون خلال سنة واحدة .

4:11 كوكب بلوتو The Planet Pluto

اكتشف كوكب بلوتو عام 1930م بعد بحث استمر أكثر من عشرين عاماً في مكان ما في مجرة درب التبانة حيث تزدحم النجوم، حيث وجد العلماء أن في مدار نبتون أيضاً اضطراباً، وأن نبتون لا يفسر وجود اضطرابات في مدار أورانوس، بدأ الفلكيون البحث عن كوكب جديد، فاكتشفوا بلوتو(الصغير الحجم والكثافة) وإليك أهم خصائصه الطبيعية :

متوسط بعده عن الشمس 49 وحدة فلكية . والشذوذ في مركزية المدار 0.25 وميل مستوى مداره على الأكلبتك '1 17° ، وفترة الدوران حول الشمس 248.4 سنه. وأما دورته الأقترانيه فهي 367 يوماً وفترة الدوران حول المحور 6.39يوم وميل دائرة استوائه على مستوى مداره 65° ، ومعدل سرعته المدارية حول الشمس 4.6كم/ث . ومعدل القطر الظاهري (الزاوي) "0.25 ومعدل قطره الحقيقي يتراوح ما بين 0.2 إلى 0.5 من قطر الأرض، وتبلغ كتلته 0.002 من كتلة الأرض، ويتراوح معدل كثافته ما بين 0.5 إلى 0.8 غم/سم^{3} ، وسرعة الهروب من الجاذبية 1كم/ث، وتبلغ درجة حرارته $40\ K^{\circ}$ (للطبقات العليا من الجو) ، ومعامل البياض 0.4، وله قمر واحد .

المجال المغناطيسي :

غير معروف حتى الآن، وأن كان المتوقع أن لا يكون موجوداً بسبب صغر كتلة الكوكب .

الغلاف الجوي :

يعتقد أن غلافه الجوي رقيق جداً، بدليل إمكانية هروب الغازات الخفيفة من سطحه وكذلك قلة الأشعة التي يعكسها فهو يبدو لنا على شكل نقطة مضيئة في سماء حالكة السواد . وقد

يحتوي على غاز النيتروجين وأول أكسيد الكربون والميثان والامونيا ويعتقد العلماء أنه يحتوي على غاز الآرغون أو النيون الخاملين كيميائياً .

التركيب الجيولوجي :

يتوقع العلماء أن يتكون كوكب بلوتو من الطبقات التالية :

أ) **القشرة** : وتتألف من جليد الميثان المطعم بالصخور حيث بنتشر على سطحه العديد من الفوهات وبعض الجبال الصغيرة .

ب) **الوشاح** : وتتألف من جليد الماء حيث تشكل هذه الطبقة معظم كتلة الكوكب .

جـ) **اللب** : وهو غلاف صخري ذي كثافة عالية .

أقماره :

اكتشف العلماء قمراً واحداً لبلوتو يدعى جارون (charon) ويبلغ قطره حوالي 1200 كم، وتبلغ كتلته حوالي 10% من كتلة بلوتو تقريباً . ويكمل القمر جارون واحدة حول بلوتو مع عقارب الساعة كل 6.39 يوماً . وهي نفس الزمن الذي يحتاجه جارون دوره ليكمل دورة حول نفسه، ولهذا يظهر القمر ثابتاً في أفق بلوتو بوجه واحد . ويميل مستوى مدار القمر جارون على مستوى مدار بلوتو بزاوية مقدارها 65° .

4:12 الكويكبات والمذنبات The Asteroids and Comets .

إن مواقع كافة كواكب المجموعة الشمسية في الفضاء منتظمة، حيث وجد العلماء أن هناك نظاماً خاصاً يحكم أبعاد الكواكب عن الشمس . وقد اكتشف العالم بود في عام 1772م هذا النظام الذي يعرف باسم قاعدة بود (Bod's Law) وهو سلسلة من الأعداد التجريبية التي تشرح بشكل مقبول بعد هذه الكواكب عن الشمس . ويمكن تحديد هذه الأعداد حسب العلاقة التالية :

$$R = 3\,(2)^{n-2} + 4$$

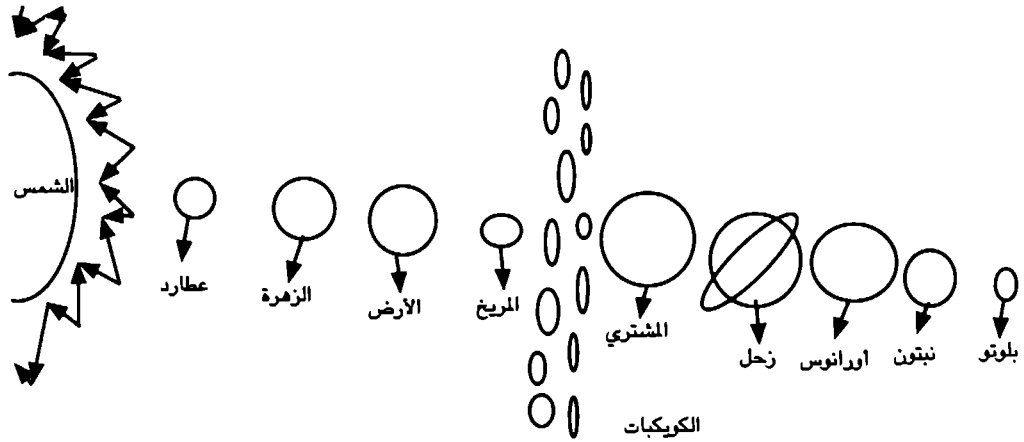
حيث n = الرقم المتسلسل للكوكب حسب بعده عن الشمس، فهو لعطارد n = 1، وللزهرة n = 2 ، وللأرض n=3، وللمريخ n=4، وللكويكبات n = 5، وللمشتري n = 6 ، ولزحل n = 7 ، ولأورانوس n = 8 ، ولنبتون n = 9 ولبلوتو n = 10، وأما (R) فهي تمثل البعد عن الشمس، وهي بالنسبة للأرض تعادل 10، وإذا أردنا تحويل هذه المسافة إلى وحدة فلكية نقسم الناتج على 10.

مثال : احسب بعد كوكب عطارد حسب قاعدة بود :

$$r_1 = \frac{R_{n=1}}{10} = \frac{3(2)^{n-2}+4}{10} = \frac{3(2)^{-1}+4}{10} = \frac{5.5}{10} = 0.55$$ وحدة فلكية

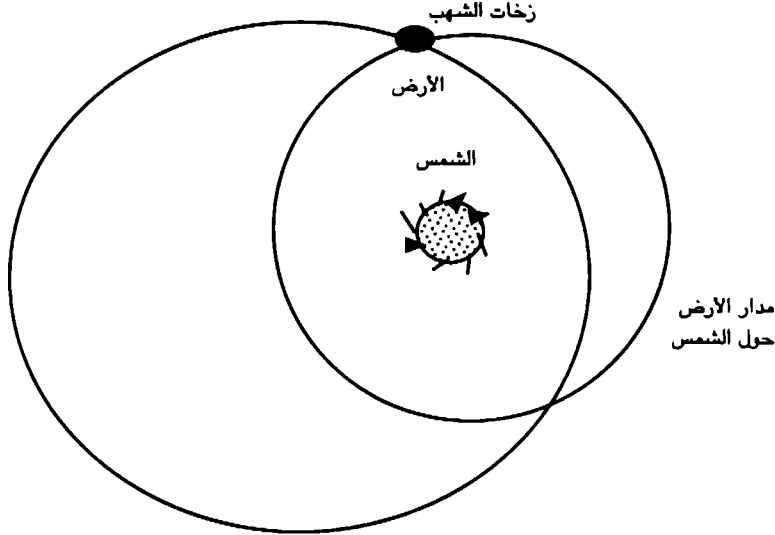
وهذه القيمة تختلف عن البعد الحقيقي لعطارد عن الشمس (0.39) وحدة فلكية وبتطبيق قاعدة بود للأرض تحصل على:

$$r_3 = \frac{R_{n=1}}{10} = \frac{3(2)^{3-2}+4}{10} = \frac{3(2)^1+4}{10} = \frac{6+4}{10} = 1$$ وحدة فلكية

وهي تمثل المسافة الحقيقية لكوكب الأرض عن الشمس .

صورة توضح موقع الكويكبات في النظام الشمسي

لاحظ العلماء أن النظام الشمسي بعد المريخ يبدو وكأنه يختفي تماماً . ولذلك أسفر قانون بود عن مشكلة وهي توقعه لوجود كوكب على مسافة (2.8) وحدة فلكية من الشمس عندما نعوض (n = 5) في قانون بود، لم يعرفه العلماء في حينه، والواقع أن قانون بود يعطي نتائج جيدة لمعظم الكواكب ما عدا نبتون وبلوتو ومع هذا أوجد العلماء الكثير من المبررات لذلك، منها أن بلوتو كان في الأصل قمراً لنبتون أو ربما تأثرات مداراتهما بسبب اقتراب مذنب كبير الكتلة منهما. ولا يوجد لقانون بود تفسير حتى الآن. ومن الجدير بالذكر أن أبعاد أقمار المشتري وزحل عن كواكبها تخضع لقانون بود أيضاً .

ولقد اكتشفت الكويكيات وأورانوس ونبتون وبلوتو في ضوء قانون بود . حيث عرف العلماء أن المسافة الهائلة بين المريخ والمشتري لا يوجد بها إلا كتل صخرية مختلفة الأحجام تدعى الكويكبات والتي لا تزيد كتلتها جميعاً عن 0.04% من كتلة الأرض ويقدر العلماء عددها بحوالي 30 الف كويكبة، درسوا منها حتى الآن حوالي 2000 كويكبة (1984م) وأكبر هذه الكويكبات يدعى سيرس Ceres ويبلغ طول قطره حوالي 1000 كم وشكله كروي تقريباً، ويقع على بعد (2.77) وحدة فلكية حيث اكتشف عام 1801م وبعدها بسنة اكتشف العلماء كويكب آخر يدعى بالاس Pallas، وفي عام 1807م اكتشف كويكبان آخران دعيا بجونو Juno وفيزتا Vesta وفي عام 1845 م اكتشف الكويكب أستريا Astrea وأطلق على هذه الأجسام الضعيفة السطوع، والصغيرة الحجم اسم استيرويدز (Asteroids) أي تشبهاً بالنجوم الصغيرة .

ولقد تمكن العلماء من دراسة حركة وتركيب هذه الكويكبات الصغيرة الحجم، بقياس السطوع الضوئي في مجال الأشعة تحت الحمراء، وقياس أقطارها الزاوية لتحديد حجومها، كما واستخدموا التحليل الطيفي، للأشعة المنعكسة عن سطوحها، حيث تعطي معلومات عن التركيب الكيماوي لسطوحها . كما أن التحليل المباشر للنيازك (Meteorites) وهي بقايا الكويكبات التي تقترب من الأرض اقتراباً يجعلها تدخل نطاق جاذبيتها وجوِّها، فَتَحْرَقْ كشهب في الغلاف الجوي الأرضي (Meteors) ويكون حجمها عادة كحجم حبة الحصى فتسقط بسرعة فائقة نحو الأرض، وتحترق في الغلاف الجوي الأرضي، تاركة آثاراً مضيئة مميزة، تتألق في السماء لمدة ثوان. ويمكن في الليلة الواحدة (حينما تكون السماء صافية) مشاهدة أكثر من عشرة شهب وهي تحترق في الغلاف الجوي في طريقها لسطح الأرض ولا تصل لسطح الارض إلاّ الاجزاء الكبيرة الحجم نسبياً . حيث قد يزن الواحد منها عندما ترتطم بسطح الأرض عدة أطنان وعندها تكون فوهات ارتطام Impact Carters مميزة على الأرض ، تشبه تلك التي على سطح القمر، وتدعى عندها بالنيازك .

صورة توضح مناطق تجمع الشهب والنيازك

التركيب الكيماوي للكويكبات

تدل دراسات التحليل الطيفي والكيماوي على أن حوالي 75% من الكويكبات تحتوي على مواد كربونية عضوية مقعدة التركيب وأن حوالي 5 % من الكويكبات تتألف من الحديد والنيكل والمجموعة الباقية من الكويكبات تتكون من السيليكات .

مدارات الكويكبات

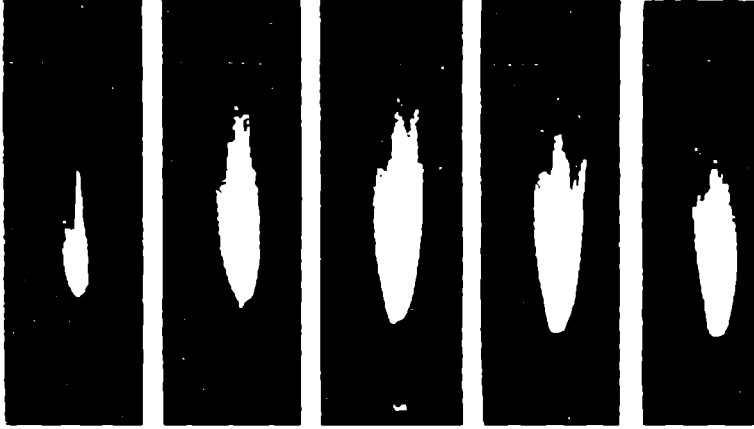
تدور الكويكبات حول الشمس مثل بقية الكواكب باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة . وتتوزع على غير انتظام في المنطقة الواقعة ما بين 2.2 و 3.3 وحدة فلكية عن الشمس، وهي تبتعد عن بعضها البعض ملايين الكيلومترات حالياً ولا تشكل خطراً على رحلات السفن الفضائية التي تمر بين الكواكب ومداراتها إهليجية ثابتة، لها شذوذية مركزية حوالي 0.3، ويميل مستويات مداراتها من صفر إلى 20°، حيث يعتقد العلماء أنه في الماضي كانت تصطدم مع بعضها البعض كثيراً ولكن في الوقت الحاضر قلّ عددها كثيراً، وليست هناك فرصة مواتية لتصادمها مع بعضها البعض، كما أنه لوحظ أن هناك مدارات ذات زمن دوري معين، يكثر تواجد الكويكبات فيها بينما مدارات أخرى على أبعاد معينة وأزمان دورية معينة لا يوجد

فيها كويكبات على الإطلاق، وتدعى هذه المناطق غير المأهولة بالكويكبات بفراغات كيرك وود (Kirk Wood) وتقع على بعد 2.5 وحدة فلكية و 3.28 وحدة فلكية، وعلى هذا. فإن الكويكبات التي تدور في مدارات لها فترات دوران حول الشمس تعادل 1/2 أو 1/3 أو 1/4 من فترة دوران المشتري حول الشمس ستتعرض إلى قوى جذب متبادلة مع المشتري في نفس المكان من المدار كلما تقابلا، مما يؤدي إلى تغير مدار الكويكب تدريجياً واقترابه من المشتري ومع طول الزمن يصبح المدار فارغاً من الكويكبات. كما في حلقات زحل حيث توجد الفراغات. ويعتقد العلماء بأن أصل الكويكبات ربما كان كوكباً وانفجر إلى شظايا عديدة، ولكن بسبب قلة كتلة الكويكبات استبعد هذا الرأي. ويبدو أن مادة هذه الكويكبات كانت موجودة أصلاً عندما تشكلت المجموعة الشمسية. ولم تستطع أن تتكاثف معاً لتكوين كوكب معين بسبب قوة جذب المشتري لها باستمرار، حيث كان السبب في تعجيلها وإعطائها سرعة عالية بالقرب منه، حيث أدى إلى زيادة عدد تصادماتها وتساقطها على الكواكب المجاورة .

المذنبات Comets

أجرام سماوية، تبدي بريقاً متميزاً من رأس لامع يمتد منه ذيل طويل أو أكثر على شكل سحابة مضيئة تخترق السماء، خاصة عند اقترابه من الشمس ولقد اعتقد ارسطو أنها ظاهرة تتعلق بالغلاف الجوي الأرضي وكان قدوم المذنبات ومشاهدتها يثير الرعب في قلوب الناس وتنذر بالدمار والحروب حتى جاء العالم تايكوبراهي في عام 1577م فأثبت أن المذنبات ما هي إلا أجرام سماوية يدور بعضها حول الشمس في مدارات إهليجية شديدة الشذوذ المركزي . وتميل مستوى مداراتها بزوايا مختلفة عن الأكلبتك، وتأتي من مكان بارد بعيد في الفضاء، بدليل احتوائها على غازات متطايرة، ولو كانت تأتي من مكان قريب للأرض فإن مواقعها ستتغير بالنسبة للمشاهد على الأرض حسب مكان تواجده .

وعندما جاء العالم البريطاني ادموند هالي (Edmund Halley) قام بمراجعة سجلات ظهور المذنبات فوجد أن خصائص المذنب الذي ظهر في السنوات (1532م ، 1607م ، 1682م) متشابهة، فاقترح أنه نفس المذنب وله زمن دوري حول الشمس يقارب 76 سنة، ومن خلال قانون كبلر الثالث تبين أن المحور الكبير لمداره الإهليجي يبلغ حوالي 18 وحدة فلكية تقريباً . وتوقع أن يظهر مرة أخرى في عام 1910م ، ولقد حاولنا مراقبة مذنب هالي عندما اقترب من الأرض أثناء دورانه حول الشمس في نيسان عام 1986م . ولكن كان قريباً من الأفق الجنوبي بالنسبة لنا في الأردن فلم نتمكن من مشاهدته. وللمذنبات مدارات بعضها

إهليجي (قطع ناقص) وبعضها على هيئة قطع مكافئ أو على هيئة قطع زائد . وفي الحالة الأولى يكون للمذنب زمن دوري معين، أما في الحالتين الأخيرتين فإن المذنبات تدور حول الشمس مرة واحدة ولا ترجع أبداً .

صورة لمذنب أرنولد على مدى خمسة أيام متتالية من 1957/4/26 إلى 1957/5/1لاحظ التغير في شكل الذيل

تركيب المذنبات

يكون المذنب في الفضاء الخارجي بعيداً عن الشمس غير مرئي من الأرض، ويعتقد بأنه يكون على شكل جسم صخري غير منتظم الشكل مغلف بطبقة جليدية من الغازات المختلفة . ولكن عند اقترابه من الشمس يتميز إلى مناطق معينة هي :

النواة Nucleus :

وهي تمثل الجزء الصلب من المذنبات، وتتكون من جزيئات متجمدة من الماء وثاني أكسيد الكربون والنشادر والميثان، ويبلغ قطرها بضعة كيلومترات وربما تحتوي على مواد نيزكية معدنية .

الشوشة (الراس) Coma :

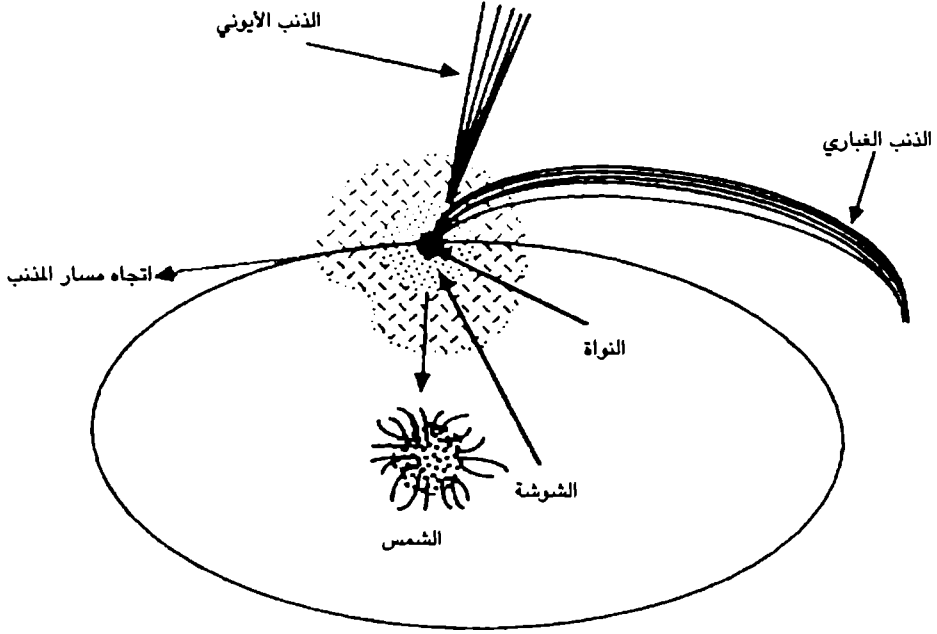
وتظهر عند اقتراب المذنب من الشمس (أي عندما يصل إلى مدار المريخ) حيث تتكون غيمة كروية الشكل تقريباً من الغازات المتألقة بالضوء نتيجة تبخر الغازات المتجمدة حول النواة

بفعل أشعة الشمس ويبلغ قطرها حوالي 100,000 كم وتدل الدراسات الطيفية على احتوائها على جزيئات بسيطة (N_2 , Co , CN , CH , C_3 , C_2 , H_2O) وعلى جزيئات معقدة (H_2 , CH_4 , NH_3 , CO_2) .

الذيل Tail :

يتكون الذيل عند اقتراب المذنب كثيراً من الشمس، حيث يتبخر جزءاً كبيراً من طبقاته الخارجية بفعل الإشعاعات الشمسية والرياح الساخنة حيث تندفع أجزاء من غلافه الغازي (الشوشة) بعيداً عن النواة مكونة ذيل متوهج يكون في(عكس اتجاه الشمس) ويمتد الذيل ملايين الكيلومترات في الفضاء وهو من نوع الذنب الأيوني (ويكون مائل إلى الزرقة) حيث ينتج بفعل تصادم الرياح الشمسية مع الذرات والجزيئات في الشوشة فتنفصل عنها الكتروناتها وتصبح الذرات موجبة الشحنة مثارة في مستويات طاقة عالية فتتأثر بالمجال المغناطيسي للشمس، وعندما تعود للإتحاد مع الكتروناتها السالبة، ينبعث ضوء منها (CH^+ , CO_2^+ , N_2^+ , Co^+) .

وهناك ذيل ثاني يلحق بالمذنب عادة يدعى الذنب الغباري ولونه مائل للصفرة نتيجة انعكاس أشعة الشمس، ويتألف من جسيمات غبارية من مادة السيليكات، حيث تصطدم الفوتونات الضوئية (الإشعاع الشمسي) مع الغبار في الشوشة، فتدفعه بقوة خلف المذنب، ولذلك تتنحى بعيداً عن المذنب الأيوني .

وتبقى جسيمات الغبار خلف الذنب مكونة جدولاً يسير حول الشمس في مدار المذنب نفسه، وتمر الأرض من هذا الجدول مرة واحدة في السنة على الأقل وبذلك تستطيع هذه الجسيمات الغبارية من التعلق بجو الأرض، وتسبح بسرعة كبيرة، حتى تحترق بواسطة احتكاكها مع الهواء فتظهر الشهب في السماء الليلية بمعدلات غزيرة تصل إلى 1000 شهاب في الساعة، حيث تعرف هذه الظاهرة بزخات الشهب (Meteor Showers).

شكل يوضح تركيب المذنب

4-13 الشمس The Sun

تُعد الشمس نجماً متوسطاً بالمقارنة مع بلايين النجوم الموجودة في مجرتنا (درب التبانة) . وهي أقرب النجوم إلى الأرض . وتختلف الشمس عن الأرض بأنها مكونة من الغاز كلياً وينبعث من سطح الشمس (الكرة الضوئية) الضوء الذي يضيء نهارنا ويعطينا الدفء والحرارة .

وتشكل كتلتها 99.9 %من كتلة المجموعة الشمسية جميعاً، وأليك أهم خصائص الطبيعة المعروفة :

متوسط بعدها عن الأرض 149.6 مليون كم . والقطر الزاوي الظاهري لها "59 '31 وتبلغ كتلتها 1.99×10^{33} غم، ومتوسط كثافتها 1.4 غم/سم^3، ويبلغ القطر الحقيقي للشمس 1.4×10^6كم وتبلغ سرعة الإفلات من سطحها 618 كم/ث. وأما عجلة الجاذبية فهي 27.9 مرة من عجلة الجاذبية الأرضية . وتبلغ درجة الحرارة في مركزها 14 مليون درجة مطلقة . وأما ميل محور دوران الشمس مع العمودي على مستوى مدار الأرض فيبلغ '10 °7، وفترة

دورانها حول محورها 25 يوم لنقطة على خط استوائها، وتبلغ 28 يوم لنقطة على خطوط العرض المتوسطة، وتصل إلى 34 يوم لنقطة عند الأقطاب . ولها حركة مدارية حول مركز مجرة درب التبانة، إذ تدور حولها بسرعة 250 كم في الثانية والثابت الشمسي، أي كمية الأشعة الإجمالية التي تصل إلى سطح الأرض 1.94 سعر حراري/سم^2/دقيقة . وأما نورانية الشمس، أي كمية الطاقة الإجمالية التي تبعثها الشمس إلى الفضاء فهي 3.83×10^{33} أرغ/ثانية وتبلغ درجة حرارة سطحها 5800 درجة مطلقة .

4:13:1 التركيب البنائي للشمس

الشمس كرة غازية متزنة ديناميكياً بسبب تساوي قوة الجذب نحو مركز الكرة الغازية (للداخل) وقوة ضغط الغاز الساخن الذي يدفع الأجزاء المجاوره(للخارج) ، وتتركب الشمس كيميائياً من غاز الهيروجين بنسبة 70% ، وغاز الهيليوم بنسبة 27% وبقية العناصر الأخرى بنسبة 3 % ، وتشمل (الليثيوم، البيريليوم، البورون، الكربون، النيتروجين، الأوكسجين، الفلور، النيون، الصوديوم، الماغنيسيوم ... الخ).

وتتولد الطاقة الشمسية في باطن الشمس حيث كثافة الغاز كبيرة جداً ودرجة الحرارة عالية جداً، حيث تحدث التفاعلات الإندماجية النووية (بواسطة تفاعل البروتون بروتون) وفيه تندمج أربع نويات لذرات الهيدروجين (بروتونات) لتكوّن أيون ذرة الهيليوم، حيث تكون كتلة النواة الناتجة أقل من كتلة المواد المتفاعلة، وفرق الكتلة يتحول إلى طاقة، حسب معادلة انيشتاين، التي تنص على:

أن الطاقة الناتجة من التحول = كتلة المادة المتحولة إلى طاقة × مربع سرعة الضوء

$$\Delta E = \Delta m \,.\, C^2$$

↓ ↓ ↓

erg gm cm/sec

ولقد وجد العلماء أن 0.7% من كتلة الهيدروجين المتفاعل يتحول إلى طاقة على شكل فوتونات ذات طاقة عالية تدعى (أشعة جاما) وخلال حركة هذا الفوتون من باطن الشمس إلى السطح يحدث له امتصاص وانبعاث بلايين المرات من خلال تصادمه مع الأيونات ذات الكثافة العالية في المركز . وعقب كل تصادم مع ذرة يفقد الفوتون جزءاً من طاقته، ويزداد طوله الموجي (تصادم كوميثون) ويتحرك في مسار عشوائي حتى يصل إلى السطح بعد ملايين

السنوات من لحظة تكونه، وعند وصـوله للسطح يصـبح طوله الموجي ضـمن المنطقـة المرئيـة للضوء، ويمكن تقسيم الشمس إلى المناطق الحرارية التالية :

1- الطبقات الداخلية :

ا) **اللب** : (النواة المركزية) : حيث تحدث التفاعلات الإندماجية النووية (وتشمل حتى 0.25 من نصف قطر الشمس) .

ب) **طبقة الإشعاع** : وتنتقل فيها الحرارة للسطح بالإشعاع وتحيط بلب الشمس (وتشمل حتى 0.68 من نصف قطر الشمس) .

جـ) **طبقة الحملان** : وتنتقل فيها الحرارة للسطح بالحمل (وتشمل حتى 0.98 من نصف قطر الشمس) .

2- الطبقة الوسطى (طبقة الغلاف المنير) أو الكرة الضوئية للشمس .

وهي الطبقة المرئية الصفراء التي تظهر لنا من الأرض وتدعى بالفوتوسفير (Photosphere)، وتشمل المنطقة الواقعة ما بين 0.98 إلى 1.0 من نصف قطر الشمس، وتفصل ما بين الشمس وغلافها الجوي، وينبعث ضوؤها إلينا خلال 8 دقائق تقريباً، وتبلغ كثافتها حوالي 0.001 من كثافة الهواء الجوي عند مستوى سطح البحر، وهي غير منفذة للضوء ولذلك لا نستطيع رؤية الطبقات التي تحتها مباشرة .

3- طبقات الغلاف الجوي الخارجية :

ويتميز الغلاف الجوي للشمس إلى ثلاث مناطق منفذة للضوء المنبعث من الكرة الضوئية للشمس، ولا يوجد حدود واضحة معلومة بينها .

وهذه المناطق مرتبة من الأسفل للأعلى هي :

ا) **الطبقة القالبة (Reversing Layer)** :

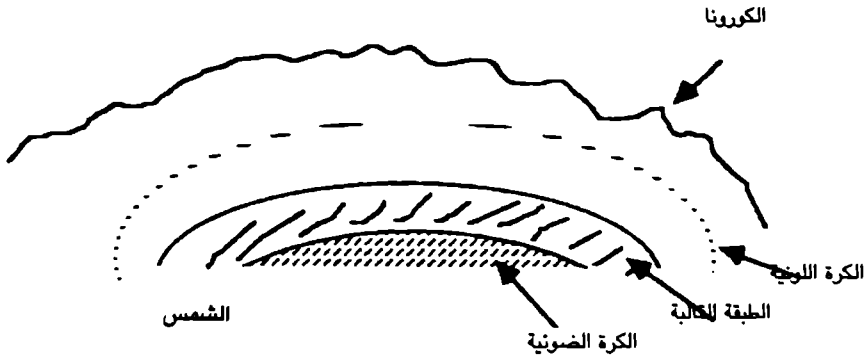
وتقع فوق سطح الشمس (الكرة الضوئية) مباشرة، ويبلغ سمكها حوالي 1609 كم، والتي حددها العلماء باستعمال الكسوف الشمسي (بمعرفة الزمن الذي يحتاجه القمر حتى يقطع هذه الطبقة، ومعرفة سرعة القمر في مداره)، وتنقص كثافتها تدريجياً إلى 5×10^{-13} غم/سم^3، بينما تزداد درجة حرارتها كلما اتجهنا نحو سطحها العلوي ($7500\ K^{\circ}$) وتعمل ذرات الغاز في هذه الطبقة على امتصاص آلاف الفوتونات الضوئية المنبعثة من طبقة الكرة الضوئية والتي تؤدي إلى وجود أطياف إمتصاصية مركبة على طيف الشمس المستمر .

ب) طبقة الكروموسفر (The Chromosphere) :

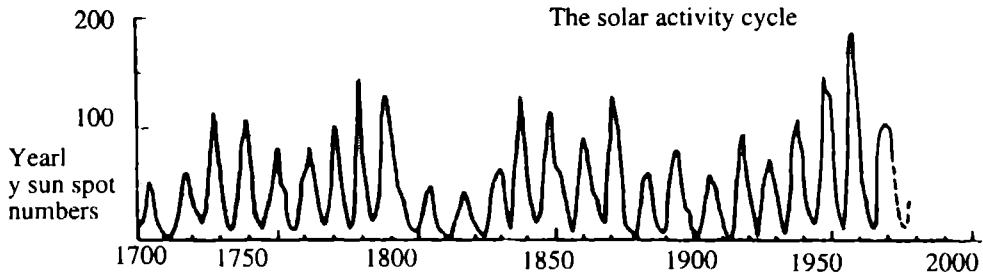
وتدعى (بالكرة الملونة)، وهي الطبقة المتوسطة في الغلاف الجوي للشمس . ويبلغ متوسط سمكها 9654 كم تقريباً . وتظهر بلون رمادي (Rose - Pink) والذي يعود إلى انبعاث أطياف خطية لامعة عن ذرات الهيدروجين ($\lambda_H = 6563 A^{\circ}$) مما يدل على أن هذه الطبقة ساخنة، قد تصل حرارتها إلى مليون درجة مطلقة، وأما كثافتها فتصل إلى حوالي 10^{-15} غم/سم3 . ويبدو الهيدروجين متأيناً 100% .

والجدير بالذكر أن هذه الخطوط الطيفية الإنبعاثية ضعيفة لا تظهر في الطيف الشمسي، وتومض هنيهة فور كسوف الشمس معطية ما يسمى (بالطيف الومضي Flash Spectrum)، والذي يدلنا على العناصر الكيميائية الموجودة فيه .. وتدل الأبحاث على أن الجزء العلوي من هذه الطبقة في حالة ثوران دائم، حيث تندفع كتل غازية كبيرة لارتفاعات شاهقة .

جـ) الطبقة (التاجية) الكورونا (The Corona) :

وتعلو الكرة اللونيـة، ولا ترى بالعين المجـردة إلا خـلال الكسـوف الكلي للشـمس، ويبلغ سمكها حوالي 1.6 مليون كم . ويرتبط شكل وحجم طبقة الاكليل بدورة الكلف الشمسي Sun Spots التي تدوم لفترة 11.5 سنة .

فـهي دائرية عندما يكون الكلف الشمسي في ذروة نشاطه، ويكون شكلها بيضاوي (Elongated) عندما يكون الكلف الشمسي أقل ما يمكن على سطح الشمس . وتكون كثافة الغاز قليلة جداً، وتتصادم الذرات بسرعات تنتج عنها درجات حرارة عالية، تقارب المليون درجة مطلقة، وتبعث هذه الطبقة خطوط طيفية انبعاثية جديدة من الحديد والكالسيوم العالية التأين، حيث تفقد ذرة الحديد 13 الكتروناً نهائياً من أصل 26 الكترون، كذلك الكالسيوم يفقد

6 الكترونات نهائياً من أصل 20 الكترون، وترتفع غازات هذه الطبقة ملايين الكيلو مترات في الفضاء الخارجي .

طبقة الكورونا

صورة تمثل البقع الشمسية في السنة منذ عام 1700 ميلادي إلى عام 1972م

4:13:2 الظواهر الشمسية

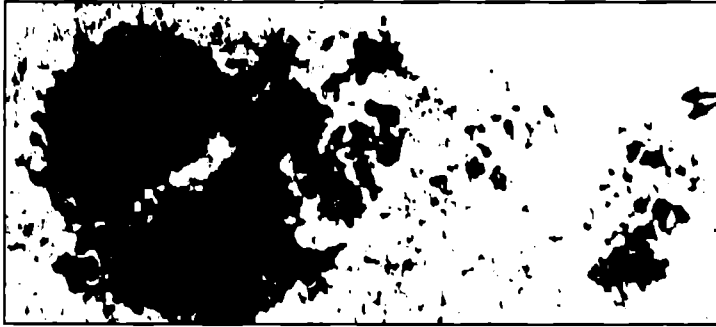
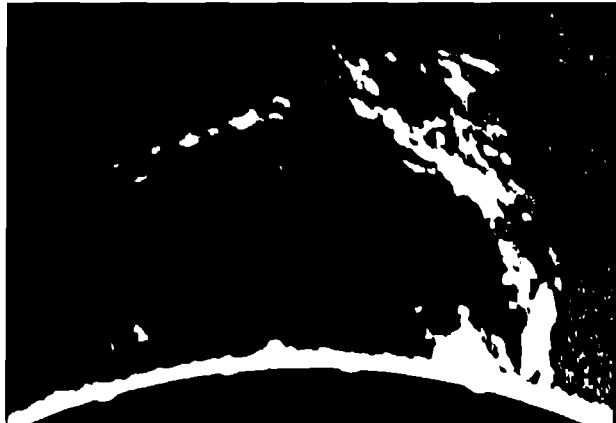
أ) ظاهرة البقع الشمسية (Sun Spots)

كان غاليليو أول من شاهد وجود البقع الشمسية على سطح الشمس تلسكوبياً . وتختلف مساحة هذه البقع، فقد تصل إلى آلاف الأميال المربعة، وهي تتكون من منطقة مركزية مظلمة، (الظل) محاطة بمنطقة خارجية أقل ظلمة (شبه ظل) ومتوسط درجة حرارتها حوالي $4000K^{\circ}$ ولذلك تبعث ضوءاً قليلاً بالنسبة لسطح الشمس (الفوتوسفير) ولذلك فهي تظهر مظلمة بالنسبة للمناطق المجاورة لها . ويتغير عدد هذه البقع الشمسية دورياً مع الزمن من 50 إلى 500 بقعة شمسية في السنة، على مدى 11 سنة تقريباً . وتدوم هذه البقع عادة لفترة تتراوح ما بين 4 أيام إلى 100 يوم، وتتواجد البقع الشمسية عند بدء الدورة البقعية على خطوط عرض متوسطة 30° ± شمال وجنوب خط الاستواء وخلال الدورة تقترب هذه البقع من خط الاستواء الشمسي وعند نهاية الدورة تقع جميعها على خط الاستواء وترتبط البقع الشمسية بحقول

مغناطيسية عالية جداً(تزيد حوالي 1000 مرة بالنسبة لمناطق الغاز المجاورة) . حيث تندفع حزم من المادة المتأينة من باطن الشمس عبر سطحها مكونة هذه البقع، وتعمل البقع الشمسية إما كقطب مغناطيسي شمالي أو جنوبي، وقد تظهر على شكل أزواج من البقع إحداها شمالي مغناطيسي والأخرى جنوبي مغناطيسي، وعند قدوم الدورة الثانية للبقع الشمسية يتغير اتجاه قطبيها تماماً، أي عندما يتغير اتجاه المجال المغناطيسي للشمس (أي أن الدورة المغناطيسية الشمسية هي 22 سنة) . ولقد تأكد العلماء من دوران الشمس حول نفسها عن طريق رصد البقع الشمسية التي كانت تدور مع سطح الشمس .

ب) الشواظ الشمسي Prominence :

وهي عبارة عن اندفاع ألسنة من اللهب الوردي بعيداً عن سطح الشمس على شكل أقواس ومنحنيات آلاف الأميال، وهي في معظمها تتكون من الغازات الساخنة المقذوفة من سطح الشمس نحو الغلاف الخارجي للشمس (الاكليل) .

وتبقى لفترة تتراوح ما بين بضعة أيام إلى بضعة أشهر، وتصل سرعة اندفاعها إلى 480 كم/ث .

مجموعة من البقع الشمسية

صورة توضح الشواظ الشمسي

جـ- التاجج الشمسي Solar Flares:

تظهر فوق طبقة الكروموسفير من حين لآخر سحب وهاجة ساطعة لبضع دقائق ثم تختفي تدريجياً خلال ساعة أو أكثر، وتتكون بجوار مناطق البقع الشمسية . وهي أصغر من الشواظ الشمسي، كما أنها تصل إلى ارتفاعات أقل، وتعود أهميتها إلى أنها تبعث اشعاعات في مجال الأشعة السينية والفوق بنفسجية، والأمواج الراديوية، خلال فترة حياتها القصيرة والتي تصل للأرض بسرعة الضوء وتؤثر على انتقال الموجات الراديوية على الأرض وعلى المجال المغناطيسي للأرض . كما أنها تزود الرياح الشمسية بالدقائق المشحونة المتأينة (بلازما) والتي تصل للأرض خلال ثلاثة أيام والتي تؤثر على مجال الأرض المغناطيسي وتسبب ظهور الشفق القطبي (Aurorae) عند القطبين .

د- الشعيرات الشمسية Faculae :

وتظهر على قرص الشمس سحب متوهجة ناتجة عن توهج بعض العناصر المتأينة فيه قبل ظهور البقع الشمسية بيوم أو أكثر ولكنها تدوم لفترة أطول من البقع الشمسية .

هـ- الحبيبات Granulation :

وهي المظهر المرقش لطبقة الفوتوسفير، والتي تظهر كمناطق مضيئة، حيث يرتفع فيها الغاز الساخن بواسطة تيارات الحمل، وهي أكثر سطوعاً من المناطق المظلمة المجاورة لها، حيث يهبط الغاز البارد إلى داخل طبقة الفوتوسفير، ويتراوح قطر هذه المناطق حوالي 1000 كم .

أسئلة وتمارين

1) رتب الكواكب تبعاً لبعدها عن الشمس (من الأقرب إلى الأبعد .

2) رتب الكواكب تبعاً لدرجة حرارة الجانب المظلم فيها (من الأسخن للأبرد) .

3) رتب الكواكب حسب طول اليوم (من الأطول للأقصر) .

4) أي الكواكب لها أقمار ؟ وكيف تدور هذه الأقمار حولها ؟

5) أي من الكواكب لها أكبر سرعة إفلات ؟ وهل لها أغلفة جوية ؟

6) أي من الواكب لها مجال مغناطيسي ؟ وهل لها لب مصهور ؟

7) قارن بين معامل البياض لكل من : الأرض، الزهرة، القمر، زحل، أورانوس .

8) مم تتكون الغيوم على كوكب الزهرة ؟

9) ما هي المكونات الكيميائية للغلاف الجوي لكل من : المريخ، الأرض، والمشتري، والزهرة؟

10) ما فائدة كل من : طبقة ستراتوسفير، الأيونوسفير، المغنيتوسفير، طبقة الأوزون، غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو ؟

11) من خلال دراستك للكواكب، ما هي الأدلة التي تؤيد نشوؤها معاً في نفس الظروف ؟ وما هي الأدلة التي تناقض ذلك ؟

12) أين توجد الكويكبات ؟ وما شكل مداراتها حول الشمس ؟ وكم تبلغ كتلتها جميعاً ؟ وما هو قطر أكبرها حجماً ؟ وما هو أصلها ؟

13) ما هو مصدر النيازك التي تسقط على الأرض وما هو مصدر المذنبات ؟ وعلى ماذا يدل احتواء ذيولها على غازات متطايرة؟

14) ما المقصود بكل من : الشهب، النيازك، الفوتوسفير، الكروموسفير، الكورونا، البقع الشمسية، الشواظ الشمسي، التأجج الشمسي، الشعيرات الشمسية ؟

4:14 نشوء النظام الشمسي

لقد حصلنا على كم هائل من المعلومات عن الخصائص الفيزيائية للنظام الشمسي، ومحتوياته، وتبين لنا التشابه الكبير في البناء الداخلي والكيماوي للكواكب الأرضية وكذلك الحال بالنسبة للكواكب العملاقة الخارجية . ولكننا لحد الآن لم نقل شيئاً عن كيفية نشوء هذا النظام الشمسي . ولكن قبل أن نوضح ما تقوله النظرية الحديثة (Modern theory) عن تكون النظام الشمسي، سنعرج على أهم الأفكار التي طرحت منذ القدم وحتى الآن، مع العلم أن أية نظرية ناجحة في تفسير نشوء النظام الشمسي يجب أن تكون قادرة على تفسير بعض الحقائق لعلمية المتعلقة مثلاً بالحركة المدارية للكواكب حول الشمس، والحركة المحورية للكواكب حول نفسها، وحركة الأقمار حول الكواكب نفسها . حيث أن مدارات هذه الكواكب تقع في نفس مستوى واحد تقريباً، وجميعها دائرية تقريباً، وجميع الكواكب تدور حول الشمس في نفس الاتجاه من الغرب إلى الشرق وعكس عقارب الساعة، ويشذ عن تلك القاعدة كوكب بلوتو (مداره ذو استطالة كبيرة، ويميل بحوالي 17° بالنسبة للأكلبتك) إلا أنه يدور حول الشمس بنفس اتجاه بقية الكواكب .

أما الحركة المحورية لجميع الكواكب فهي بنفس الاتجاه تقريباً، كما هو الحال للحركة المدارية والمحورية لمعظم أقمار النظام الشمسي وهو عكس عقارب الساعة عندما ينظر الراصد من نقطة فوق االقطب الشمالي . وهناك شيء آخر يجب أن نفهمه من أية نظرية ناجحة وهو لماذا تكونت الكواكب حيث هي الآن؟ وليس في مكان آخر ؟ كما أن دوائر خطوط الاستواء لمعظم الكواكب تميل على مستوى الاكلبتك بزوايا صغيرة تقريباً . حتى أن محور دوران الشمس يكاد يكون عمودياً على الاكلبتك، ويشذ عن تلك القاعدة كوكبي أورانوس وبلوتو .

وهناك حقيقة أخرى تتعلق بطبيعة الكواكب الداخلية من حيث أن كثافتها كبيرة نسبياً (صخور ومعادن) بينما طبيعة الكواكب الخارجية ذات كثافة أقل نسبياً والتي تتكون بشكل أساسي من عناصر غازية خفيفة كالهيدروجين والهيليوم والجليد وبعض العناصر المتطايرة الأخرى . وحتى ضمن المجموعة الواحدة من الكواكب يوجد اختلافات طفيفة في نسب الوفرة لبعض النظائر فيما بينها .

وهناك مشكلة دوران الشمس البطيء حول محورها (حوالي 25 يوماً) والتي بقيت لغزاً غامضاً لوقت طويل . حيث اقترحت النظريات الأولية القديمة على أن النظام الشمسي قد نتج

من انكماش وتكاثف سديم غازي وغباري كبير جداً (قطره بضعة أمثال قطر النظام الشمسي الحالي) والتي كانت تدور حول نفسها وتدلنا قوانين الفيزياء بأن الزخم الزاوي لهذ السديم الغازي يجب أن يبقى ثابتاً . وإذا حدث لهذه الغيمة الغازية أي انكماش تدريجي فإن النظام الناتج منه يجب أن يدور بشكل أسرع ليبقى الزخم الزاوي ثابتاً وهكذا فبالنسبة للشمس التي تكونت في مركز الغيمة الغازية المنكمشة على نفسها يجب أن تكون أسرع في دورانها مما هي عليه الآن فزمن دورانها حالياً حوالي 25 يوماً (بطيئة) وكان يجب أن يكون زمن دورتها حوالي 5 ساعات تقريباً .

والآن بعد أن قدمنا كافة الأدلة والحقائق العلمية المعروفة عن النظام الشمسي دعنا نأخذ فكره عن الفرضيات والنظريات التي طورت عبر التاريخ حول نشأة النظام الشمسي، وسوف نلتزم هنا بذكر النظريات التي اقترحت بعد زمن كوبرنيكوس حيث تأكد الجميع من دوران الكواكب حول الشمس .

ا) النظريات التطورية (evolutionary theories)

1- اقترح العالم الفرنسي ديسكارت عام 1644م نظرية أولية مفادها أن النظام الشمسي نشأ من دوامة كبيرة من مائع كوني كنتيجة ثانوية لولادة الشمس .

2- نظرية الفيلسوف الألماني عمانويل كانت عام 1755 م .

قام بتطوير فكرة ديسكارت بتطبيقه لميكانيكا نيوتن على المسألة، ليثبت أن النظام الشمس نشأ من سديم غازي هائل كروي كان يدور حول نفسه وبالتدريج بدأ بالإنكماش تحت تأثير قوى الجذب الذاتي حيث أصبح السديم بفعل الدوران والإنكماش حول مركزه أكثر تفلطحاً متحولاً إلى ما يشبه القرص، ودعيت هذه النظرية باسم الفرضية السديمية (Nebular hypothesis) لأنها اقترحت بناء الشمس والكواكب من سديم غازي .

3- نظرية عالم الرياضيات الفرنسي بيير لابلاس عام 1796 م .

وتدعى بفرضية القوة الطاردة عن المركز (The Centrifugal hypothesis) أو النظرية السديمية للابلاس (Nebular theory of Laplace) ويشير العالم لابلاس مستقلاً عن الفيلسوف كانت إلى صياغة جديدة للفرض السديمي حيث تفترض النظرية أنه في وقت ما منذ زمن بعيد كان هناك سديم هائل من الغاز والأتربة يزيد قطره عن قطر مدار بلوتو، وكان هذا السديم يدور ببطئ في الفراغ، وعندما بردت هذه الكتلة الغازية حدث لها إنكماش تحت

تأثير قوى تثاقلها الذاتي، وتزايدت سرعة دورانها، وهذا الدوران المغزلي ينشأ كنتيجة لقانون بقاء حفظ الزخم الزاوي . وكلمت زادت سرعة اللف المغزلي للسديم يصبح أكثر تفلطحاً ويفترض أن يصل إلى شكل القرص . (ويمكن إعتبار ذلك نتيجة للقوة الطاردة عن المركز والتي تكون أكبر عند دائرة خط الاستواء، وأصغر عند قطب الجسم الدائر) .

وفي النهاية كان الجزء الخارجي من السديم يدور بسرعة هائلة لدرجة أن القوة الطاردة عن المركز أصبحت أكبر في قيمتها من قوة الجذب الذاتي نحو المركز فانفصلت حلقة غازية من النطاق الاستوائي لجسم السديم ثم استمر السديم في الانكماش فزادت سرعة دورانه .

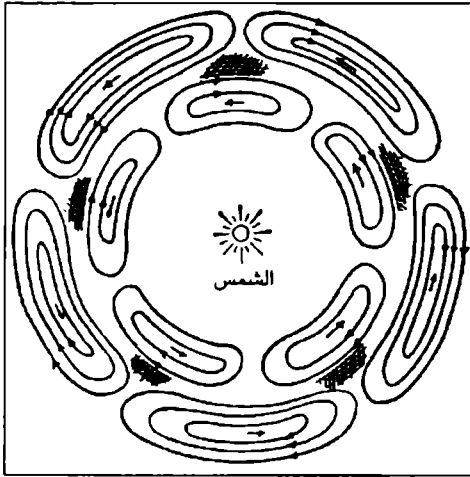
وتكرر انفصال عشر حلقات، حيث تكاثفت تسعة منها لتكون الكواكب المعروفة، لكن الحلقة السادسة لم تتكثف على شكل جسم واحد ولكنها انشطرت إلى كتل صغيرة كثيرة العدد، والمعروفة باسم الكويكبات . أما الكتلة المركزية من السديم فقد تكاثفت لتكون الشمس .

4- نظرية هـ . ألفين السويدي

ظهرت هذه النظرية في عام 1940 م وهي تطوير لنظرية سبقتها للعالم و . شميدت الروسي الأصل وتقترح هذه النظرية على أنه بعد تكون الشمس مباشرة من سديم غازي، بقي في مجال جاذبيتها مادة غازية من الوسط البين نجمي المجاور (interstellar medium) حيث تكاثف مكوناً الكواكب المعروفة حسب فكرة نظرية التراكم العضوي (A ccretion theory) التي أيدها بعض العلماء لتفسير تشكل النظام الشمسي ومهما يكن فإن هذه النظرية لم تشتهر لأن العلماء وقت ظهورها استطاعوا التوصل لحلول المسائل التي واجهت نظرية التطور النجمي .

5- الفرضية الاضطرابية (The Turbulence Hypothesis)

وضعها الفيزيائي كارل فريدرك فون ويزيكر عام 1945م وتفترض هذه النظرية بأن الشمس في وقت ما من حياتها كانت محاطة بسديم غازي على شكل قرص بطيء الدوران، بحيث كان قطره يقارب قطر المجموعة الشمسية الحالية، وكانت درجة حرارة السديم متفاوتة حسب بعدها عن الشمس، أما كتلة السديم فكانت حوالي 10% من كتلة الشمس أو تعادل مئه ضعف من كتلة الكواكب الحالة مجتمعة، وكان السديم يتألف من 99% (هيدروجين وهيليوم) و 1% عناصر ثقيلة وبعد مضي حوالي 200 مليون سنة فُقِدَ معظم جزيئات الهيدروجين والهيليوم في الفضاء حتى تقلصت كتلة السديم إلى حوالي 0.1% من كتلة الشمس ولكن الزخم الزاوي للسديم الغازي بقي ثابتاً والذي يفسر القيمة الحالية للزخم الزاوي للكواكب .

ويبدو أن السدم الغازية المنكمشة على نفسها تحت تأثير قوى الجذب الذاتي والتي تدور حول نفسها بسرعة معينة سوف تتحول تدريجياً إى قرص غازي يدور حول مركزه بصورة تفاضلية (أي أن سرعة دوران أجزائه الداخلية أكبر من سرعة دوران أجزائه الخارجية) وبسبب الفروق في سرعة الأجزاء المختلفة من السديم حيث تكون السرعة كبيرة قريباً من الشمس، وتكون السرعة قليلة بعيداً عن الشمس تكونت دوامات (خلايا اضطرابية) في أمكنة مختلفة على سطح قرص المادة السديمية كما أن الحجم النسبي لهذه الدوامات سوف يختلف مع بعدها عن مركز القرص الغازي (كما في الشكل).

شكل يوضح الفرضية الاضطرابية

وهذا يفسر حجم وبعد الكواكب عن الشمس حالياً. حيث تدور كل خليه اضطرابية مغزلياً حول نفسهامع عقارب الساعة بينما يحرك مركز الخلية نفسها عكس عقارب الساعة حول الشمس وحسب هذه النظرية تشكلت الكواكب في المنطقة الميتة بين الخلايا الاضطرابية، حيث وبسبب التيارات المتضاربة على حدود هذه المناطق تكون أكثر قدرة على تجميع ونمو المادة من الخلايا المجاورة حيث يتكون أكوم (عقد) من المادة تدور باتجاه معاكس لعقارب الساعة ومن خلال اندماج هذه الأكوام والتي تقع على نفس البعد من الشمس يتشكل الكوكب على ذلك البعد ويبدو أن كل دوامة قد جمعت المواد المحيطة بها بفعل الجاذبية الثقيلة مكونة كوكباً أولياً (Protoplanet) .

ويعتقد أن تسعة كواكب أولية قد تكونت، ولقد كانت الكواكب الأولية أضخم كثيراً من الكواكب الحالية، كما نشئت دوامات صغيرة داخل بعض الدوامات الكبيرة، تطورت إلى أقراص تدور حول نفسها ثم أصبحت أقماراً تابعة للكواكب .

وقد أصبحت هذه النظرية مقبولة عند معظم العلماء لأنها تشرح حقائق كثيرة عن النظام الشمسي على الرغم من عدم إكتمال هذه النظرية بعد .

وكان النجاح الكبير في فهم بطء دوران الشمس حول نفسها قد تم في عام 1960م مع اكتشاف الرياح الشمسية حيث تفقد الشمس مادة غازية متأينة تندفع بسرعة كبيرة بعيداً عن الشمس والتي تملأ فضاء ما بين الكواكب ولا تزال هذه المواد المتأينة مرتبطة بالشمس

بواسطة خطوط قوى المجال المغناطيسي الشمسي الذي يعمل بكفاءة كأوتار مرنة تشده نحو الشمس، مما يتولد عنه قوة سحب وإعاقة ثابتة للشمس وكلما تحركت مادة الرياح الشمسية خارج الشمس يزداد بعدها عن محور الدوران ويزداد زخمها الزاوي المفقود من زخم الشمس الزاوي وبذلك (حيث يجب أن تبقى كمية الزخم الزاوي ثابتة)، فإن عملية الفرملة المغناطيسية هذه عملت خلال بلايين السنين الماضية على إبطاء معدل دوران الشمس حول نفسها إلى ما هي عليه الآن .

ونلاحظ أن هذه النظرية تفسر لنا دوران الكواكب في نفس المستوى تقريباً، كما أن دائرة استواء الشمس تتطابق تقريباً مع مستوى مدارات الكواكب، وحقيقةً، فإن الكواكب تمتلك تقريباً جميع الزخم الزاوي للنظام الشمسي، والحقيقة الأخرى أن المسافات الفاصلة بين الكواكب تتبع نموذجاً منتظماً كما هو موصوف في قاعدة بود لأبعاد الكواكب، ولكن هذه النظرية، لا توضح الكيفية التي تتكون بها الأكوام أو العقد من القطرات الغازية والدقائق الغبارية في السديم الغازي، ولا العملية التي تتحد بها هذه الأكوام، لتشكل الكوكب، ولا تفسر دوران كوكب أورانوس حول محوره الذي يعامد تقريباً محور دورانه حول الشمس ولا السبب في حركة بعض الأقمار حركة تراجعية .

6- فرضية الكواكب الأولية (The Planetesimal theory)

أُقتُرِحَتْ هذه النظرية عام 1950م على يد العالم الفلكي (الهولندي المولد)، أمريكي الجنسية ج كويبر الذي عمل على تطوير أجزاء عديدة من نظرية لابلاس، وتنص هذه النظرية على ما يلي:

أ) تحولت الكرة الهائلة من الغاز والغبار تحت تأثير قوى الجاذبية والطاردة عن المركز إلى قرص غازي سريع الدوران حيث استقر حوالي 95% من الكتلة الأصلية بالقرب من مركز القرص والتي أصبحت فيما بعد الشمس، وبقيت المادة المتبقية والبالغة 5% من الكتلة الأصلية ليتشكل منها فيما بعد الكواكب الأولية للنظام الشمسي .

ب) كان الاضطراب هو المسيطر في القرص الغازي وظهر تركيز للمادة في أجزاء عديدة منه والتي كانت تختفي بعد تكونها مباشرة، وفي وقت ما نشأ تركيز للمادة حيث كانت قوى الجاذبية قوية فيما بينها واستطاعت التغلب على القوى المشتتة والناشئة عن الاضطراب ومثل هذا التجمع المادي نما بسرعة في الحجم والكتلة بإضافة مادة مجاورة قريبة له وبالنهاية مكونة كوكباً أولياً، وتكونت الكواكب الأولية الأخرى بنفس الطريقة على

أبعاد مختلفة من الشمس،حيث تجمعت كتلة صغيرة في الكوكب القريب من الشمس، لأن معظم المادة الموجودة على هذا البعد كانت الشمس قد التقطتها، أما الكواكب الأولية البعيدة عن الشمس فلم تكبر بالحجم كثيراً نظراً لتكونها على أطراف القرص الغازي حيث كمية المادة المتوفرة قليلة .

ج) استمرت الشمس الباردة والحديثة التكوين، بالانكماش وارتفاع حرارتها تدريجياً وفي النهاية وصلت حرارة مركزها لدرجة مناسبة لحدوث التفاعلات الاندماجية النووية (بضعة ملايين من الدرجات المطلقة) حيث يتحول الهيدروجين إلى هيليوم منذ خمسة بلايين سنة تقريباً وبدأت إشعاعات الشمس ورياحها الشمسية تنبعث بأقصى قدرة ممكنة والتي طردت معظم المادة الغازية المنتشرة بين الكواكب الأولية كما أنها عملت على تسخين هذه الكواكب مما تسببت بطرد كمية وافرة من كتلتها إلى الفضاء البين نجمي . وخلال هذه العملية فَقَدَ كوكبُ الأرضِ الأولي، حوالي 99.9% من كتلتها الأولية، والتي كانت معظمها من الهيدروجين والهيليوم . كما أن كوكب المشتري الأولي فقد أيضاً حوالي 95% خلال عملية التحول إلى كوكب المشتري الحالي .

ب) النظريات الكارثية (Catastrophic theories)

تقوم هذه النظريات بشكل عام على وجود الشمس أولاً، ثم تفترض حدوث تصادم بين الشمس ونجم آخر، أو على الأقل الاقتراب الشديد بين الإثنين مما يؤدي إلى انسلاخ جزء من مادة الشمس . وهذه الفروض الخاصة بالتصادم أو المد والجزر لا تشارك في نظرية تكون النجوم ولكنها تفسر تكون الكواكب. ومن النظريات التي وُضِعتْ على هذا الأساس:

1- نظرية بوفون التي وضعها عام 1745م، حيث أُقترح بأن مذنباً قد إقترب من الشمس بحيث أن قوة جذبه الهائلة المؤثرة على الشمس كانت كافية لاقتلاع جزءاً من مادة الشمس السديمية، والتي تكاثفت لتشكل الكواكب .

2- نظرية المواجهة (encounter theory) أو نظرية الكويكبات الأولية (The Planetesimal Theory) وقد تدعى بفرضية المد والجزر (The tidal hypothesis) التي وضعها العالم الجيولوجي توماس تشمبرلين والعالم الفلكي فوريست مولبتون عام 1905 م . وقد افترضت هذه النظرية أن الشمس كانت نجماً بلا كواكب، وفي وقت ما في الزمن البعيد مر نجم بالقرب من الشمس . وأثر بقوة مد وجزر هائلة كانت كافية لاقتلاع جزئين كبيرين من الجانبين

المتقابلين للشمس وعندما انفصل هذان الجزءان عن الشمس صارا باردين وتكاثفا على شكل جسيمات صلبة سميت كويكبات أولية (Planetesimals) وقد أصبحت كل كويكبة كبيرة نواة جذبت إليها كويكبات أصغر منها، وباستمرار التراكم زاد نموها ببطء حتى وصلت حجمها الحالي واتخذ كل منها مداره الخاص حول الشمس، كما اعتقد العالمان أن الكواكب الخمسة الكبرى نتجت من المادة المُقْتَلَعَه من الشمس من الجانب الأقرب للنجم الزائر، أما الكواكب الأصغر والكويكبات فقد تكونت من كتل أصغر من مادة الشمس المنفصلة من الجانب الأبعد للنجم الزائد. وتكونت الأقمار من تجمعات صغيرة من الكويكبات كانت قريبة من الأنوية التي نشأت منها الكواكب.

وعلى الرغم من القبول الواسع لهده النظرية، الذي استمر لعشرات السنين، فقد واجهت اعتراضات جيولوجية وفلكية منها، الابحاث الحالية دلت على أن الارض كانت في الأصل في حالة منصهرة، بينما تفترض النظرية على أن الارض نشأت على شكل كوكب صلب.

كما أن هناك العديد من الجسيمات الموجودة في الفراغ حول الشمس كانت كفيلة بتدميرها.

3- الفرضية التصادمية :وضع هذه النظرية إثنان من العلماء الإنجليز وهما جيمس جينز وهارولد جيفرز عام 1918م واللذان يعملان في مجال الفيزياء الفلكية. حيث قَبِلا الإفتراض بأن الشمس، قد اقتربت من نجم آخر، حيث أخذ التقارب شكل التصادم الفعلي وهما يعتقدان أن المادة المنجذبة من الشمس قد اتخذت شكل مغزل طويل أو فتيل يشبه السيجار مكون من غازات شمسية، وقد تحطم هذا الفتيل الغازي فيما بعد إلى وحدات تكاثفت إلى حالة منصهرة ثم تصلبت فيما بعد مكونة الكواكب. ولكن علماء الفلك الآخرين وضّحوا أن فتيلاً غازياً من هذا النوع، لم يكن بإمكانه تكوين أجسام صلبة مثل كواكبنا إذ أنه من المتوقع إختفاء هذا الفتيل في الفراغ، كما أن إحتمالية التصادم نادرة جداً، حيث تدل الحسابات على أنه لم يحدث أكثر من عشرة تصادمات نجمية ما بين حوالي مئة بليون نجم في مجرتنا خلال خمسة بلايين عام مضت حتى الآن .

4- فرضية التصادم النجمي الثلاثية (The double star Encounter hypothesis):

قام العلماء هـ. رسل، و.ر. ليتلتون و ف . هويل بتطوير نظرية غازية بديلة حوالي عام 1930م تنص على أن الشمس بدأت حياتها في الأصل، كعضو في مجموعة نجمية ثنائية، وان نجماً

ماراً بالقرب منهما قد اصطدم مع النجم المرافق للشمس، حيث تحررت الشمس من مجال الجاذبية للمجموعة، عندما اصطدموا معاً تقريباً، وفي أثناء عملية طرد الشمس من هذه المجموعة النجمية، فإن قوى الجذب من النجمين الآخرين استطاعت أن تقتلع جزءاً من مادة الشمس السديمية على شكل ذيل غازي كافي لإنتاج الكواكب والأقمار، واستمر النجمان المتصادمان بالحركة كلاً في اتجاهه حاملاً جزءاً من الذيل الغازي والواقع في مجال جاذبيتهما، حيث يتوقع العلماء بأن حوالي 94% من الذيل الغازي سوف يستقر بالنهاية إلى مكونات النجمين المتصادمين بينما يتبع الجزء المتبقي 6% والموجود في الجزء المركزي من الذيل الغازي إلى قوة جذب الشمس حيث من المحتمل أن يكون الزخم الزاوي لهذه المادة المركزية في الذيل الغازي مقارباً للزخم الزاوي المقاس حالياً للكواكب .

ونلاحظ بأن معظم النظريات الكارثية تقدم فائدة مهمة وهي أن دوران الشمس البطيء يجب أن لا ينتج أثناء تكون الشمس ولكن من الممكن أن يتم بعد تشكلها بزمن طويل .

كما أن هناك مشكلة التواجد الطبيعي لنظير الهيدروجين (الديوتيريوم) في النظام الشمسي، حيث يعتقد العلماء أن الديوتيريوم في الشمس يتفاعل كلياً لتكوين الهيليوم في داخل الشمس، وحتى على سطحها، فإذا كانت الكواكب قد تشكلت من مادة غازية انسلخت من الشمس، عندها يجب أن لا يحتوي مكوناتها على ديوتيريوم مطلقاً، مما يعني أنه كان موجوداً في المادة الأم الأصلية المكونة للنظام الشمسي كله، أو أن مادة النظام الشمسي لم تكن جزءاً من الشمس، وبهذا فهي تتناقض مع النظريات الكارثية كلياً . كذلك استبعد العلماء نظرية الاصطياد العشوائي للكواكب من قبل الشمس، حيث ستكون مدارات الكواكب عندها في مستويات مختلفة وهذا يخالف الحقائق المعروفة حالياً .

ج) النظرية الحديثة (Modern Theory) :

تنص هذه النظرية على أن أول خطوة في تكوين النظام الشمسي كانت انكماش غيمة بين نجمية، والتي كانت تدور حول نفسها قبل البدء في الانهيار التجاذبي الذاتي للغيمة، محاولة التكاثف لتشكل نجم كالشمس، حيث تتحول أربع بروتونات إلى نواة هيليوم وطاقة .

وبينما انهار الجزء من الغيمة البين نجمية على نفسه لتشكل الشمس، فإن الأجزاء الخارجية من الغيمة تحولت إلى شكل قرص بسبب الدوران، كما اعتقد العالم كانت، وحتى هذه المرحلة، كانت هناك، الشمسُ الوليدةَ، محاطة بغيمة متسطحة تدور حول نفسها، تدعى

السديم الشمسي (Solar nebula) وكانت الأجزاء الداخلية من السديم ساخنة ولكن الأجزاء الخارجية باردة، ولربما بدأ تشكل أول الجسيمات الصلبة خلال السديم الشمسي عن طريق نمو الجبيبات الغبارية التي يبلغ قطرها حوالي ميكرون، والمختلطة بالغاز السديمي، كما وأن لكل عنصر أو مركب يوجد قيم محددة من الحرارة والضغط يتجمد عندها من الحالة الغازية، فتكاثفت العناصر المعدنية (refractory elements) المكونة للصخور، في الأجزاء الداخلية من السديم الشمسي، والمحتوية على القليل من العناصر المتطايرة، وخلال هذه الفترة نمت أجسام تشبه الاسترويدز في الحجم والتركيب الكيماوي، دعيت بالكويكبات الأولية (Planetsimals) ومع مرور الوقت، ونتيجة لعدم الاستقرار التجاذبي فإن السديم الشمسي قد شكل دوامات أو تكاثفات في بعض المناطق . وحيثما حدثت هذه التكاثفات كان للكويكبات الأولية فرص أكبر للتصادمات، والاتحاد معها لتشكل كتل أكبر أصبحت الكواكب فيما بعد، وفي معظم الحالات كانت الكواكب التي تشكلت، تدور بنفس الاتجاه العام، للقرص الغازي، ما عدا في حالة أورانوس وفينوس (أَلزُهْرَة) حيث حدث شيء ما (كاصطدام كويكب أولي كبير، غير عادي مع كل منهما، فغيرت اتجاه الدوران الذاتي لكل منهما، عن الاتجاه العام لدوران القرص الغازي).

أما فيما يتعلق بمعرفة تتابع الاحداث التي أدت لتكوين الكواكب الخارجية، فالصورة غير مؤكدة تماماً، حيث يُعْتَقَد بأن الكويكبات الأولية المتكونة في أماكنها احتوت على نسب وفره عالية نسبياً من الغازات المتطايرة مثل الهيدروجين والهيليوم، وعندما تكونت أنوية الكواكب الخارجية من اتحاد هذه الكويكبات الأولية، استطاعت أن تصطاد كميات كبيرة من الغازات بفعل جاذبيتها من المناطق المجاورة لها، وتَشكُل لها أغلفَة جويةً غازية ضخمة ولكن، كان لقوى المد والجزر بين الشمس والكواكب الداخلية تأثير كبير في منع الكواكب الداخلية من أن تنمو عن طريق جذب كميات غازية من السديم الشمسي المجاور، ولكن قوى المد والجزر بين الشمس والكواكب الخارجية كانت ضعيفة جداً، لتمنع اصطيادها لكميات من الغاز السديمي المجاور.

إن هذه الصورة تنطلق جزئياً من وجود نظام الحلقات والأقمار التابعة للكواكب الخارجية . حيث عملت هذه الكواكب على تجميع كميات من الغاز في المناطق المجاورة لها، مكونة أقراص مثل السديم الشمسي نفسه وكان لقوى الجاذبية والتأثيرات الدورانية، دور في سقوط المادة الغازية على شكل قرص، في مستوى دائرة الاستواء لكل كوكب، وكان لعوامل عدم الاستقرار الناشئة في القرص الدوارالأثر في تكوين دوامات ثم اتحادها معاً لتكوين الأقمار .

وتكونت الحلقات الغازية والغبارية حيثما امتد القرص الغازي قريباً جداً من الكوكب أكثر منه إلى نهاية روجيه، حيث تعمل قوى المد والجزر على منع تكوين أقمار كبيرة . إما الكويكبات فمن المحتمل أنها تكونت على شكل كويكبة عادية، ولكنها مُنِعتْ من الالتحام مع بعضها لتكوين كوكب عادي بسبب تأثيرات الجاذبية لكوكب المشتري عليها .

وبالنسبة للمذنبات، فمن المحتمل أنها تكونت بعيداً جداً، ليس على بعد غيمة اوورت، حيث هي موجودة الآن، وإن كان العلماء يتوقعون عدم حصول تكاثف لقلة كثافة السديم الشمسي على هذا البعد الساحق . لذلك يميل بعض العلماء إلى الاعتقاد بأن المذنبات تكاثفت على مسافات متوسطة على الأرجح بجوار كوكبي أورانوس ونبتون، وبعدها أُجبرت على الابتعاد إلى مكانها الجديد بتأثير الجاذبية للكواكب الرئيسية، حيث يقوم كوكبي المشتري وزحل الأقرب للشمس بتسريع المذنبات قليلاً في كل مرة تزور الشمس، وبهذا تُجبرُ تدريجياً على الابتعاد إلى مسافات بعيدة جداً، وبالمحصلة فإن أغلب المذنبات تراجعت إلى الوراء بعيداً مكونة غيمة أوورت.

الإختبار الذاتي (1)

ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي :

1- إن الاكلبتك (Ecliptic) مسار الشمس الظاهري بين النجوم هو :

أ) مسقط دائرة خط الاستواء الارضي على الكرة السماوية.

ب) مسقط مستوى مدار الأرض على الكرة السماوية.

ج) المسار الظاهري للقمر على الكرة السماوية.

د) دائرة الزوال.

2- إذا كان النجم اللامع (سيريس) يشرق الساعة 10.00Pm (العاشرة مساءً) لليلة ما، إن شروقه في الليلة التالية سيكون :

أ)9:30 ب)9:56 ج) 10:00 د) 10:04 هـ) 10:30

3- هاوي فلكي في مكان ما، شاهد النجم القطبي الشمالي على ارتفاع (30°) عن الأفق، إن خط عرض مكان الهاوي هو :

أ) صفر(درجة) ب) 15° ج) 30° د) 45° هـ) 60°

4- شخص يقف على خط الاستواء، في نقطة الاعتدال الربيعي، سيرى الشمس وقت الظهيرة على ارتفاع (.....) عن الأفق :

أ) 0° ب) 30° ج) 45° د) 6° هـ) 90°

5- افرض أن غياب الشمس يتم عند الساعة 6:00Pm (السادسة مساءً) . متى يظهر القمر (في طور (أحدب جديد) إختر إجابتين هنا) .

أ) الظهر ب) 3:00 ج) 6:00 د) 9:00 هـ) منتصف الليل

و) (a.m) صباحاً ز) (p.m) مساءً

6- يعتبر اليوم النجمي :

أ) مساوياً لليوم الشمسي ب) أقصر من اليوم الشمسي

ج) أطول من اليوم الشمسي د) يعتمد على فصول السنة.

7- إن الدافع الرئيسي لاشتغال البابليين في علم الفلك هو :

أ) لتحديد موعد فيضانات الربيع ب) للتنبؤ بالخسوف والكسوف

ج) للكشف عن طالع الإنسان ومستقبله د) لايجاد وسيلة لحفظ الوقت

8- أن نموذج الكون كما دعا إليه بلاتو وأرسطو هو :

أ) أرض منبسطة في مركز الكون ب) أرض كروية في مركز الكون

ج) شمس كروية في مركز الكون د) أرض كروية في مركز المجموعة الشمسية .

9- خلال العصور المظلمة في اوروبا، بقيت المعارف الفلكية العالمية محفوظة، وحية، بواسطة :

أ) علماء الصين ب) علماء اليونان ج) علماء العرب والمسلمين د) علماء الهند.

10- إن اكتشاف كبلر بأن مدارات الكواكب قطع ناقصة بدلاً من مدارات دائرية :

أ) تتفق تماماً مع نظرية نيوتن في الجاذبية .

ب) عملت على إلغاء نظام بطليموس المعقد وجعلت حساب مواقع الكواكب أسهل وأدق .

ج) أ و ب معاً د) لا شيء مما ذكر

11- إن تطوير قانون كبلر الثالث بصورته الجديدة بواسطة إسحاق نيوتن، مفيد جداً للفلكيين لأنه يسمح بتحديد :

أ) كتلة الكوكب ب) بعد الكوكب ج) قطره د) عجلة الجاذبية على سطحه .

هـ) زمن دورته حول نفسه .

12- لو ذهبت لزيارة القمر، أي من خصائصك الطبيعية التالية ستتغير بالتأكيد :

أ) كتلتك ب) طولك ج) وزنك د) كثافة جسمك .

13- تعتمد قدرة الكوكب على امتلاك غلاف جوي على :

أ) كتلته وزمن دورته حول نفسه ب) درجة حرارته وعدد أقماره

ج) مجاله المغناطيسي د) سرعة الإفلات منه، وسرعة جزيئات غازاته .

14- يحدث المد والجزر على الأرض بسبب :

أ) تأثير جذب القمر للأرض

ب) تأثير جذب الشمس للقمر

ج) تأثير جذب كل من القمر والشمس للأرض وما عليها

د) وجود البحار والمحيطات على سطح الأرض .

15- لو ضاعفنا المسافة بين الأرض وقمر صناعي (يدور متزامناً معها أي زمن دورته حولها يوم واحد) فإن زمنه الدوري الجديد حول الأرض يصبح :

أ) 1 يوم ب) 1.6 يوم ج) 2 يوم د) 2.8 يوم

16- كوكب يدور حول الشمس دورة كاملة كل (1000) سنة أرضية، إن بعده عن الشمس سيكون تقريباً :

أ) 1 A.U ب) 100 AU ج) 1000 AU د) لا يمكن إيجاده لعدم معرفة كتلته.

17- افرض أن نجماً يقع على (20°) شرقي الخط المرجعي الذي يقاس منه الإحداثي النجمي فإن (خط المطلع المستقيم) أو (زاوية الساعة (R.A) له هي :

أ) $1^{h}\ 0^{m}\ 0^{s}$ ب) $1^{h}\ 20^{m}\ 0^{s}$ ج) $22^{h}\ 20^{m}\ 0^{s}$ د) لا شيء مما ذكر

18- يعين خط الطول لراصد ما :

أ) بقياس زاوية ارتفاع النجم القطبي ب) بقياس البعد عن خط الاستواء

ج) بقياس بعده عن مركز الأرض د) لا شيء مما ذكر صحيح

19- يشرق القمر في طور البدر :

أ) السادسة صباحاً ب) الثانية عشر ظهراً

ج) الثالثة مساءً د) السادسة مساءً.

20- لو ازدادت سرعة الأرض في مدارها حول الشمس فإن طول اليوم الشمسي :

أ) سيقل عما هو عليه الآن ب) سيزيد عما هو عليه الآن

ج) لا يتغير د) لا شيء ما ذكر صحيح

21- يمكن تطبيق قانون كبلر الثالث على :

أ) حركة قمر حول كوكبه ب) حركة الأرض حول الشمس

ج) حركة نجم حول نجم آخر د) جميع ما ذكر صحيح

22- يؤثر المد والجزر مع مرور الزمن على طول اليوم الأرضي بحيث يعمل على :

أ) زيادته ب) نقصانه ج) بقاءه ثابتاً د) زيادة الليل ونقصان النهار.

23- إن حركة الأجرام السماوية كما تبدو لنا من الأرض هي بسبب :

أ) حركتها الحقيقية ب) الحركة المحورية للارض

ج) الحركة المدارية للأرض هـ) لا شيء مما ذكر صحيح

24- حتى يحدث الكسوف الحلقي للشمس يجب أن يكون القمر :

أ) بدراً ب) تربيع أول جـ) هلال د) محاقاً

25- إن تقاطع مستوى مدر القمر مع مستوى مدار الشمس الظاهري يدعى :

أ) خط الاستواء الفلكي ب) دائرة البروج ج) الاكلبتك د) خط العقد .26)
يكون المد أعلى ما يمكن عندما يكون القمر :

أ) محاقاً ب) تربيع ثالث ج) نقطة الأوج د) لا شيء مما ذكر صحيح.

27- أي من التالية لسيت من إنجازات البابليين :

أ) إنتاج جداول فلكية ب) تطوير نظام العد الستيني

ج) قاسوا الوقت باستخدام المزولة الشمسية د) فسروا الخسوف والكسوف

28- لمشاهد على الأرض، تتغير صورة التشكيلات النجمية في السماء من وقت لآخر بسبب :

أ) حركة النجوم الحقيقية ب) حركة الشمس حول المجرة

ج) حركة الأرض حول الشمس د) لا شيء مما ذكر صحيح

29- تعتبر الدورة الاقترانية للقمر :

أ) أقل من دورته النجمية ب) أكبر من دورته النجمية

ج) متساويتان د) لا شيء مما ذكر صحيح

30- كوكب ما محوره الدوراني عمودي على مستوى مداره حول الشمس فإن فصوله ستكون:

أ) أقصر من فصول الأرض ب) تشبه فصول الأرض

ج) أطول من فصول الأرض د) لا شيء مما ذكر

31- مشاهد فلكي يقف على الأرض (خط عرضه 27°) ستكون الشمس في نقطة سمته على الأقل :

أ) مرتين في السنة ب) مرة في السنة

ج) ثلاث مرات في السنة د) لا شيء مما ذكر

32- لا يحدث الخسوف والكسوف في كل شهر بسبب :

أ) أن القمر يتواجد بشكل دائم في مستوى الأكلبتك .

ب) لعدم تواجد القمر نهائياً في مستوى الأكلبتك .

ج) أن محور دوران الأرض يميل على مستوى الأكلبتك .

د) لأن مدار القمر ليس في مستوى الأكلبتك .

33- أين على الأرض تبدو جميع النجوم فوق الأفق سواء في نفس الوقت أو في وقت آخر .

أ) على القطب الشمالي .　　ب) على مدار السرطان

ج) على مدار الجدي　　د) على خط الاستواء

34- تظهر الكواكب في السماء :

أ) بلمعان متغير الشدة　　ب) بلمعان ثابت الشدة

ج) بتألق شديد　　د) لا شيء مما ذكر صحيح

35- تظهر لنا السماء على شكل نصف كرة مجوفة بسبب :

أ) أن الأرض في مركز الكون　　ب) قوة الجاذبية

ج) أن الأرض منبسطة　　د) أن الأرض كروية

36- إذا أشرق القمر الساعة 12 ظهراً في مكان ما على سطح الأرض فإن طوره يكون :

أ) قمر وليد　　ب) تربيع ثالث　　ج) تربيع أول　　د) هلال جديد

37- إذا تحققت شروط الكسوف الشمسي وكان القمر في نقطة الأوج فإن نوع الكسوف الشمسي الحاصل هو :

أ) كلي　　ب) جزئي　　ج) حلقي　　د) خسوف قمري جزئي .

38- تحدث الفصول الأربعة على كوكب الأرض لسبب رئيسي هو :

أ) مدار الأرض الدائري حول الشمس　　ب) مدار الأرض البيضاوي حول الشمس

ج) ميلان محور دوران الأرض على العمودي على مستواها

د) لا شيء مما ذكر صحيح

39- عندما يقترب الكوكب من الشمس أثناء دورانه حولها فإن عزمه الزاوي :

أ) يزداد　　ب) يبقى ثابتاً　　ج) يقل　　د) لا نستطيع التحديد

40- تعتمد سرعة الإفلات من جاذبية أي كوكب على :

أ) طردياً مع كتلة الكوكب ب) عكسياً مع درجة حرارة الكوكب

ج) عكسياً مع نصف قطر الكوكب د) (أ + ب) معاً هـ) (أ + ج) معاً .

41- العالم أرستارخوس :

أ) كان أستاذ لأرسطو ب) أول من أثبت أن الأرض كروية

ج) أول من قاس التزيح النجمي د) أول من أمن بنظرية مركزية الشمس.

42- تتحرك الشمس في السماء في مسار محدد يدعى :

أ) مجرة درب التبانة ب) دائرة خط الاستواء

ج) دائرة البروج د) دائرة الزوال

43- تتحرك الكواكب حسب نظام بطليموس على دوائر صغيرة والتي تتحرك بدورها على دائرة ثانوية تدعى :

أ) فلك التدوير ب) الدائرة المحيطية ج) الدائرة الرئيسية د) قطع مكافيء

44) لمشاهد على خط عرض 40° شمالاً فإن النجوم الأبدية الظهور لها زاوية ميل :

أ) 90° فما فوق ب) 50° فما فوق ج) 40° فما فوق د) لا شيء مما ذكر

45- إن مركز كتلة النظام المكون من (الأرض والقمر) يكون :

أ) أقرب إلى القمر ب) على بعد متساوي بينهما

ج) أقرب إلى الأرض د) لا شيء مما ذكر

الإختبار الذاتي (2)

ضع دائرة حول الإجابة الصحيحة لكل من الجمل التالية :

1- أحد العوامل التالية يعتبر المسبب الرئيسي لحدوث المد في خليج العقبة :

أ) الأرض ب) الشمس ج) القمر د) خط الاستواء

2- يحدث كلاً من المد والجزر على الشواطئ البحرية بمعدل :

أ) مرة واحذة يومياً ب) مرتان يومياً

ج) مرة واحدة كل 6 ساعات د) لا شيء مما ذكر

3- يحدث المد العالي عندما يكون القمر في طور :

أ) التربيع الأول　ب) أحدب جديد　ج) المحاق　د) هلال قديم

4- من نتائج المد والجزر :

أ) نقصان طول اليوم الأرضي　ب) نقصان بعد القمر عن الأرض

ج) زيادة طول اليوم الأرض　د) لا شيء مما ذكر صحيح

5- تم اكتشاف الكثير من الكويكبات التي تدور حول الشمس بواسطة :

أ) قانون فين　ب) قياس الطيف　ج) العين المجردة　د) لا شيء مما ذكر

6- أن تردد الفوتون الراديوي :

أ) أكبر من تردد الفوتون تحت الأحمر　ب) أكبر من تردد الفوتون الأصفر

ج) أقل من تردد الفوتون تحت الأحمر　د) لا شيء مما ذكرصحيح

7- تنتج الأطياف المستمرة بتسخين المادة :

أ) الصلبة　ب) السائلة　ج) الغاز الكثيف　د) جميع ما ذكر صحيح

8- عند تعرض ضوء الشمس العادي إلى بخار الصوديوم الذي حرارته حوالي 2000 كلفن يظهر طيف الشمس :

أ) مستمراً　ب) خطي مظلم

ج) مستمراً وعليه خطان ساطعان　د) مستمراً وعليه خطان مظلمان

9- تحدث الأطياف الامتصاصية النجمية في منطقة :

أ) الغلاف الجوي الأرضي　ب) الغلاف الجوي للنجم نفسه

ج) سطح النجم　د) في مركز النجم

10- منحنى الإشعاع للطاقة :

أ) علاقة بين شدة الطاقة المنبعثة مع الطول الموجي.

ب) علاقة شدة الطاقة المنبعثة مع عدد الفوتونات.

ج) عدد الفوتونات مع درجة حرارتها .

د) جميع ما ذكر صحيح .

11- تلسكوب A قطره مرآته (4m) وتلسكوب B قطره مرآته (1m) فإن قدرة الأول إلى الثاني بالنسبة لتجميع الضوء النجمي تساوي :

أ) 4 ب) $\frac{1}{4}$ ج) 14π د) 16

12- توضع التلسكوبات في الفضاء لدراسة :

أ) طيف الأشعة تحت الحمراء ب) طيف الأشعة فوق البنفسجية

ج) طيف أشعة جاما د) جميع ما ذكر صحيح

13- تبنى المراصد الفلكية البصرية في المناطق التالية :

أ) المنخفضة ب) بعيدة عن محطات الإذاعة والتلفزيون

ج) العالية د) قريبة من محطات الإذاعة والتلفزيون

14- تتم دراسة المجرات وفضاء ما بين النجوم بواسطة :

أ) الخط الموجي البصري ب) الخط الموجي القصير

ب) الخط الموجي الراديوي د) الخط الموجي الأحمر

15- يقوم الهوائي في التلسكوب الراديوي :

أ) باستقبال الأمواج الراديوية وتجميعها

ب) بتوجيه النبضات الكهربائية الناتجة إلى المستقبل

ج) بتحويلها إلى أمواج كهرومغناطيسية د) (ب + ج) معاً.

16- تظهر العيوب الكروية في :

أ) العدسات المحدبة ب) المرايا المستوية

ج) المنشور الزجاجي د) جميع ما ذكر صحيح

17- عند سقوط ضوء الشمس الأبيض على عدسة محدبة فإن البعد البؤري للعدسة f_b للضوء الأزرق و f_g (للضوء الأخضر) يكون كما يلي :

أ) $f_g > f_b$ ب) $f_b > f_g$ ج) $f_b = f_g$ د) لا شيء مما ذكر صحيح

18- تكون الصورة في معظم التلسكوبات :

أ) معتدلة ب) مقلوبة ج) مقلوبة جانبياً د) خيالية

19- يصعب رؤية كوكب عطارد من الأرض لسبب رئيسي هو :

أ) لصغره ب) لخفوت سطوعه ج) لدورانه المحوري البطيء

د) لظهوره دائماً بالقرب من الشمس　　هـ) لأن مداره شديد الاستطالة

20- إن المكون الرئيسي لجو المريخ هو :

أ) الماء　　ب) غاز ثاني أكسيد الكربون　　ج) غاز النيتروجين

د) غاز الأوكسجين　　هـ) جميع ما ذكر بنسب متساوية

21- بالمقارنة مع الأرض، ان شدة المجال المغناطيسي لكوكب الزهرة يكون :

أ) أضعف　　ب) أقوى　　ج) نفش الشدة　　د) غير موجود

22- لو نظرنا إلى كل من الأرض والزهرة وعطارد بعيد جداً أي منهما سيكون أكثر سطوعاً .

أ) الأرض　　ب) الزهرة　　ج) عطارد　　د) جميهم سيظهرون بنفس السطوع

23- تتكون الغيوم على سطح الزهرة من :

أ) بخار الماء　　ب) غاز ثاني أكسيد الكربون　　ج) حامض الكبريتيك

د) حبيبات غبارية　　هـ) الميثان المتجمد

24- أي من التالية يقوم بإزالة الأشعة الفوق بنفسجية القادمة من الشمس على الأرض :

أ) غاز SO_2　　ب) غاز CO_2　　ج) غاز O_2　　د) غاز O_3

25- يزداد قدرة التلسكوب على تجميع الضوء بزيادة :

أ) البعد البؤري للشيئية　　ب) قوة التحليل　　ج) قطر الشيئية

د) مساحة الشيئية　　هـ) قوة التكبير

26- الانزياح الدوبلري (نحو الأحمر أو الأزرق) لضوء النجوم يتغير

أ) طردياً مع درجة حرارته　　ب) طردياً مع سرعة ابتعاده أو اقترابه

ج) عكسياً مع مربع بعده عنا　　د) لا شيء مما ذكر صحيح

27- من عيوب التلسكوب الكاسره العادية :

أ) العيوب اللونية　　ب) صعوبة تكوين الصورة　　ج) تأثره بدرجة حرارة الجو

د) تأثره بوجود المطارات ومحطات الإذاعة　　هـ) لا شيء مما ذكر صحيح

28- لديك تلسكوبان لهما نفس البعد البؤري للشيئية ولكن قطر فوهة الأول ضعف قطر فوهة الثاني فإن قدرة الأول على تجميع الضوء إلى الثاني هي :

أ) 2　　ب) متساويان　　ج) $\frac{1}{2}$　　د) لا شيء مما ذكر صحيح

29- تبدو جميع الأجرام السماوية لنا على الأرض في مواضع ظاهرية :

أ) أخفض من مواقعها الحقيقية ب) أعلى من مواضعها الحقيقية

ج) في مواضعها الحقيقية د) لا شيء مما ذكر صحيح

30- كوكب ذو مدار بيضاوي ($a = 5AU$) و ($b = 4A.U$) إن استطالة المدار (e) له هي:

أ) $\frac{5}{4}$ ب) $\frac{4}{5}$ ج) $\frac{8}{10}$ د) $-\frac{6}{10}$ هـ) لا شيء مما ذكر

31- إن بعد الشمس عن مركز القطع الناقص :

أ) 5 A.U ب) 4 A.U ج) 9 A.U د) 3 A.U هـ) لا شيء مما ذكر

32- يصدر الخط الموجي الراديوي ذي الطول الموجي 21 سم عن :

أ) جزيئات CO_2 ب) جزيئات الهيدروجين

ج) ذرات الهيدروجين د) لا شيء مما ذكر صحيح

33- ترتفع درجة حرارة جو الأرض تدريجياً بسبب :

أ) زيادة بخار الماء في الجو ب) زيادة غاز النيتروجين في الجو

ج) زيادة غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو د) لا شيء مما ذكر صحيح

34- ان الطيف الناتج عن غاز كثيف عند درجة حرارة عالية :

أ) طيف مستمر ب) طيف خطي ساطع ج) طيف خطي مظلم

35- لكل ذرة في الطبيعة خطوط طيفية مميزة عن غيرها بسبب أن :

أ) لكل ذرة لها مجموعة متميزة من النيوترونات .

ب) لكل ذرة مجموعة متميزة من المدارات الإلكترونية .

ج) التفاعل ما بين النيوترون والالكترون يتميز من ذرة لأخرى .

د) لا شيء مما ذكر .

36- يستطيع الفلكي معرفة درجة حرارة سطح النجوم بواسطة :

أ) قياس بعدها ب) قياس قطرها ج) قياس طيفها د) لا شيء مما ذكر

37- نجم درجة حرارة سطحه 10^4 كلفن، فإن الطول الموجي الذي يكون عنده شدة الإشعاع أكبر ما يمكن :

أ) $2890\ A^\circ$ ب) $9820\ A^\circ$ ج) $2890\ A^\circ$ د) لا شيء مما ذكر

38- نجم يتحرك بسرعة مقدارها 600 كم/ث باتجاه عمودي على خط البصر وكانت $\lambda_0 = 5000$ لعنصر الحديد العياري، وسرعة الضوء 3×10^5 كم/ث فإن الإنزياح الطيفي الدوبلري يساوي :

أ) 10 كم /ث ب) $10A^\circ$ ج) $0A^\circ$ د) لا شيء مما ذكر صحيح

39- تعتمد قدرة التلسكوب على الفصل والتمييز بين الجسيمات المتقاربة على :

أ) لبعد البؤري للشيئية ب) قطر الشيئية ج) مساحة الشيئية د) التكبير

40- في أي المناطق الطيفية التالية يستطيع الفلكيون أن يدرسوها طوال اليوم :

أ) المرئية ب) الفوق بنفسجية ج) أشعة إكس د) الأشعة الراديوية هـ- أشعة جاما

41) تلسكوب A قطر مرآته (4m) يراد استعماله للضوء البصري ان قدرته على تجميع الضوء بالنسبة لتلسكوب آخر B قطر راته (1m) هي :

أ) 12ضعفاً ب) 48 ضعفاً ج) 4 ضعفاً د) 2 ضعفاً ه) لا شيء مما ذكر صحيح

42- إذا استخدم تلسكوب A لمشاهدة نجمين ثنائيين (متقاربين) باستعمال الضوء ذي الطول الموجي ($5000\ A^\circ$) فإن قدرة هذا للتلسكوب على التفريق بينهما هي

أ) 2.7^0 ب) 0.27 ج) 0.027 د) لا شيء مما ذكر صحيح

43- يتميز تلسكوب نيوتن :

أ) بوجود مرآة مقعرة ب) تظهر الصورة مقلوبة

ج) بوجود مرآة مستوية صغيرة د) جميع ما ذكر صحيح

44- أحد الخصائص التالية لا توجد في نظام هايجن للعدسة العينية :

أ) يوجد عدستان ب) كل منهما محدبة مستوية

ج) السطح المستوي لاحدهما لعين المشاهد والأخرى سطحها المستوي مواجه للنجم.

د) جميع ما ذكر صحيح

45- إن الغرض الرئيسي من استعمال التلسكوب هو :

أ) لتكبير الأجرام السماوية ب) لجمع الضوء وتكبيره

ج) لجمع الضوء ووضعه في البؤرة د) جميع ما ذكر صحيح

46- أي من التالية يعتبر غير مهماً لاختيار موقع لمرصد بصري :

أ) أن يُنَفِّذَ الهواءُ كافةَ الإشعاعات ب) مقدار الغيوم في الجو

ج) إلى أي مسافة يمكن أن نرى بواسطة التلسكوب د) جميع ما ذكر صحيح

47- يستخدم الفوتوميتر الضوئي:

أ) لتحليل الضوء لمكوناته ب) لتجميع الضوء في نقطة

ج) لقياس شدة الضوء النجمي الساقط د) جميع ما ذكر صحيح

الإمتحان النهائي الذاتي # 1

1- إذا علمت أن قطر القمر يعادل 0.27 من قطر الأرض البالغ 12756 كم، وأن بعد القمر عنا حوالي 60 مره من قطر الأرض فإن قطره الظاهري :

أ) 0.25° ب) 0.5° ج) 1° د) 5°

2- يحدث التألق النجمي بسبب :

أ) الغلاف الجوي للنجم نفسه ب) حركة النجم الشعاعية

ج) الغلاف الجوي للأرض د) حركة الأرض حول محورها

3- تتغير درجة حرارة الليل والنهار على الأرض بمعدل صغير بسبب :

أ) حركة الشمس الظاهرية ب) وجود غلاف جوي

ج) وجود مجال مغناطيسي د) ميلان محور دوران الأرض

4- تشرق الشمس عادة عندما تكون :

أ) في مستوى الأفق الشرقي ب) تحت الأفق الشرقي بحوالي 8°

ج) تحت الأفق الشرقي بحوالي 18° د) لا شيء مما ذكر

5- تظهر صخور البريشا على القمر :

أ) رمادية ب) حمراء ج) بيضاء د) لا لون لها

6- يتصف قمر المريخ فوبوس بأنه

أ) أكبر من قمر الأرض ب) يحتوي على نشاط بركاني

ج) يحتوي على فوهات بركانية د) جميع ما ذكر صحيح

7- أي من التالية لا تشاهده في جو المشتري :

أ) الأكسجين ب) الميثان ج) الأمونيا د) الهيدروجين

8- يعتقد العلماء أن البقعة الحمراء الكبرى على المشتري تنتج بسبب :

أ) نشاط بركاني ب) سقوط كويكب كبير ج) ظروف جوية محددة

د) منطقة لها تركيب كيماوي مختلف عن المناطق المجاورة

9- إن كثافة زحل :

أ) أقل من كثافة المشتري ب) تقارب كثافة المشتري

ج) تشبه كثافة الأرض د) أكبر من كثافة الأرض

10- حلقات زحل :

أ) عددها (5) ب) تقع في نفس مستوى الاكلبتك

ج) بعضها مرئي وبعضها معتم د) جميع ما ذكر صحيح

11- تدل الأبحاث على أن أقمار زحل :

أ) ذات كثافة عالية ب) تتكون كلياً من جليد الماء

ج) ذات كثافة قليلة د) لا شيء مما ذكر

12- جميع أقمار أورانوس تقع :

أ) داخل حلقاته ب) خارج حلقاته ج) نصفها في الداخل د) لا شيء مما ذكر

13- لاحظ العلماء أن التركيب الكيماوي للغلاف الجوي لنبتون يتكون بشكل أساسي من :

أ) الهيدروجين ب) الهيليوم ج) الميثان د) الأمونيا

14- إن كثافة بلوتو تشبه إلى حد كبير كثافة الكوكب التالي :

أ) الأرض ب) المشتري ج) نبتون د) زحل

15- أول من أثبت أن المذنبات لا تأتي من الغلاف الجوي الأرضي :

أ) نيوتن ب) هيبارفس ج) براهي د) كبلر

16- تمتاز الكويكبات بأنها

أ) مداراتها دائرية ب) كتلتها أقل من 2% من كتلة الأرض

ج) مداراتها ليست في مستوى الاكلبتك د) لا شيء مما ذكر صحيح

17- تدعى المناطق غير المأهولة بالكويكبات ب :

أ) فراغات روجية ب) استرويدز فراغات اوورت د) فراغات كيرك وود

18- يكون الذيل الأيوني للمذنب :

أ) مستقيماً ونحو الشمس ب) مستقيماً ومبتعداً عن الشمس

ج) منحنياً وخلف المذنب د) لا شيء مما ذكر صحيح

19- تتكون المذنبات من :

أ) جسم صخري مُغَلَّف بغازات متجمدة ب) مركبات كربونية معقدة

ج) مركبات نيكل وحديد د) هيدروجين وهيليوم

20- إن التصادم بين الأرض ورأس المذنب ينتج عنه :

أ) كثيراً من الدمار والقتل ب) قليلاً من الدمار والقتل

ج) زخات شهبية د) أمطار حمضية هـ) لا شيء مما ذكر صحيح

الإمتحان النهائي الذاتي # 2

اكمل الفراغات التالية بما لا يزيد عن كلمتين فقط :

1- يظهر المذنب الغباري للمذنب بلون (..)

2- اكبر الكويكبات تدعى (..)

3- يعطي قانون بود نتائج جيدة لمعظم الكواكب ما عدا (..................................)

4- أي الكواكب أقرب ما يمكن للكويكبات (..)

5- أي الكواكب له شذوذية مركزية عظمى (..)

6- أي الكواكب يكون ميل مستوى مداره على الاكلبتك قيمة عظمى (.........................)

7- أي الكواكب تكون دورته الاقترانية أكبر ما يمكن (....................................)

8- أي الأجرام السماوية تكون دورته الاقترانية أصغر ما يمكن (..............................)

9- أي الكواكب تكون دورته المحورية أقل ما يمكن (..............................)

10- أي الكواكب تكون دورته المحورية أكبر ما يمكن (..............................)

11- أي الكواكب تميل دائرة استوائه على مستوى مداره أقل ما يمكن (......................)

12- أي الكواكب تميل دائرة استوائه على مستوى مداره أكبر ما يمكن (.....................)

13- أي الكواكب يمتلك أكبر قطر ظاهري من على الأرض (..............................)

14- أي من الأجرام السماوية ينطبق محوره المغناطيسي على محوره الدوراني (.............)

15- أي من الأجرام السماوية لها أكبر سرعة إفلات (..............................)

16- أي من الأجرام السماوية تم التنبؤ بوجوده قبل اكتشافه فعلاً في السماء (................)

17- يعتبر القمر نيريد تابعاً لكوكب (..............................)

18- أقرب أقمار المشتري له يدعى (..............................)

19- تشبه كثافة كوكب زحل كثافة كوكب (..............................)

20- أي الكواكب لم تتم عليه عملية الترسيب التفاضلي(..............................)

21- أي الكواكب له أكبر عدد من التوابع (..............................)

22- أي الكواكب يعتبر غريباً في حركته حول نفسه (..............................)

23- أين في المجموعة الشمسية يمكننا رؤية النجوم ليلاً ونهاراً (..............................)

24- ما نوع التلسكوب المستخدم للحصول على صورة للكوكب خالية من الزيغان اللوني (..............................)

25- ان زاوية ميل الشمس عند نقطة الإعتدال الربيعي هي : (..............................)

الفصل الخامس

الأرصاد والقياسات النجمية الأساسية

Stellar Basic Observations

5 : 1 تمهيد

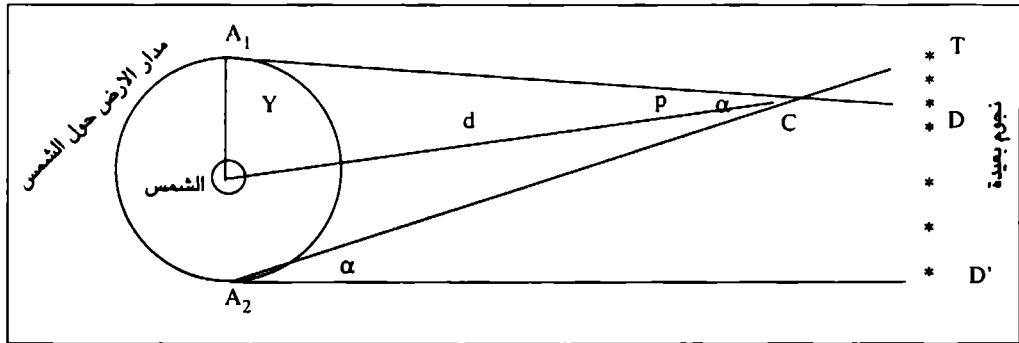
يستطيع الفلكيون الحصول على كثير من المعلومات التي تتعلق بخصائص النجوم عن طريق التحليل الطيفي للضوء النجمي الذي يصلنا الى الأرض ويدلنا على درجة حرارته وتركيبه الكيماوي وغلافه الجوي ومجاله المغناطيسي، وعن لونه ولمعانه وقربه وبعده عنا .

كما تمكن علماء الفلك من قياس الإتجاهات المؤدية للنجوم والتعمق ببصرهم عبر أبعاد متزايدة من الفضاء، باستخدام التلسكوبات الفلكية الأتوماتيكية الحديثة وما يتصل بها من مطيافات وكاميرات تصوير وأجهزة مختلفة. حتى اصبحنا اليوم نعرف تركيب الكون المرئي بصورة عامة بفضل هذه الأرصاد الفلكية الأساسية التي ابتدأت منذ القرن السابع عشر وحتى الآن.

(5 : 2) قياس المواضع النجمية Measurement of stellar position

يعتبر قياس وتحديد مواضع النجوم من اقدم الأعمال الفلكية التي قام بها الفلكيون القدماء، وعُرِفَ استعمالَهم لبعض آلات الرصد الفلكي مثل الربعية Quadrants والسدسية Asextant والتي استعملت لتحديد مواضع النجوم بالنسبة لبعضها البعض، وزوايا ارتفاعها عن الافق وحديثاً استخدم التصوير الفوتوغرافي بكاميرات ملحقة بالتلسكوبات لتصوير منطقة معينة في السماء على فترات متباعدة بقياس مواضع صور النجوم على اللوح الفوتوغرافي بعد تحميضه بالنسبة لبعضها البعض ويعيد الفلكي هذه الطريقة مرات عديدة ويأخذ المتوسط العام لقياساته وتصل دقة القياس بهذه الطريقة حوالي 0.01 ثانية قوسية، علماً بأن الدائرة الكاملة تحوي 360^0 وان الدرجة الواحدة تحوي '60 (دقيقة قوسية) وتحتوي الدقيقة القوسية على "60 (ثانية قوسية)، كما ويحدد موقع كل نجم بزوج من الأحداثيات، احدهما يعرف بخط المطلع المستقيم RA والآخر بزاوية ميل النجم(δ) هذا في نظام الاحداثيات الاستوائي او بمعرفة زاوية اتجاه النجم (AZM) وزاوية ارتفاعه عن افق الراصد (ALT) كما هو الحال في نظام الاحداثيات الافقي.

1: 2: 5 قياس الابعاد النجمية Measurement of stellar distances

هناك بعض النجوم قريبة منا على الارض حيث يحتاج الضوء المنبعث منها لبضع سنوات حتى يصلنا الى الأرض اما البعض الاخر من النجوم فهي بعيدة جداً لدرجة تفوق الخيال. وسنناقش هنا طريقة مباشرة لتعين أبعاد النجوم عن الأرض تدعى بطريقة التزيح النجمي Stellar Parallax Method (او طريقة اختلاف المنظر شمسي المركز) وتتلخص هذه الطريقة كما في الشكل (1 - 5) حيث يتم رصد احد النجوم القريبة C من النقطة A_1 على الارض وتؤخذ له صورة فوتوغرافية فيبدو النجم القريب C بمحاذاة احد النجوم البعيدة وليكن D وعندما تدور الارض نصف دورة على مدارها حول الشمس فتصل الى النقطة المقابلة A_2 اي بعد ستة أشهر، يتم رصد نفس النجم القريب C مرة اخرى وتؤخذ له صورة فوتوغرافية جديدة فنجد أنه لا يرى في مكانه الأصلي، وانما يرى في مكان آخر يبتعد مسافة ما عن المكان الذي رصد منه سابقاً، اي بمحاذاة احد النجوم البعيدة وليكن T وبسبب البعد الساحق للنجم D فان الراصدين عند النقطتين A_2,A_1 سوف يرقبان النجم البعيد D على خطي رؤية متوازيين. وهكذا فمن عند الراصد A_2 فان النجم D سيكون باتجاه A_2D' ومن ناحية أخرى فان الراصد A_2 يرى النجم القريب C باتجاه A2T، ويصنع زاوية α بعيداً عن اتجاه A_2D' حيث الزاوية α هي نفسها الزاوية الناتجة عند C، ما بين المستقيمان A_2C, A1C، بسبب ان الخط A_2C يقطع الخطوط المتوازية (A_2D', A_1D) لاحظ ان α تمثل الفرق في اتجاه C كما ترى في النقطتين A_2,A_1 ، هذه الزاوية تمثل الازاحة الظاهرية للنجم (التزيح) كما يرى من موقعين مختلفين.

شكل (1 - 5) يوضح حساب الأبعاد النجمية بطريقة التزيح النجمي

ولقد اتفق الفلكيون على ان تدعى الزاوية التي يحصرها عند النجم نصف قطر مدار الأرض حول الشمس بزاوية اختلاف المنظر (زاوية التزيح) p حيث $P = \frac{\alpha}{2}$ وعادة تكون P صغيرة جداً فتقاس بالثواني القوسية، وعليه فإنه يمكن حساب بعد النجم القريب عن الشمس (d) بمعرفة زاوية التزيح النجمي (p)، ونصف قطر مدار الارض (r) كما يلي:

$$\tan (p) = \frac{r}{d}$$

وإذا كانت الزاوية صغيرة جداً فان ظل الزاوية يساوي جيب نفس الزاوية تقريباً ويساوي الزاوية نفسها مقاسة بزاوية نصف قطرية، أي أن:

$$\tan (p) \approx \sin (p) \approx p \text{ (radian)} = \frac{r}{d}$$

$$d = \frac{r}{p \text{ (radian)}} = \frac{r}{(p'' \times \frac{1}{60} \times \frac{1}{60})^0 \quad (\frac{\pi}{180^0})}$$

$$d = \frac{1 \text{ AU} \times 60 \times 60 \times 180}{3.14\ p''} = \frac{206265 \text{ AU}}{P''}$$

وإذا كانت زاوية التزيح النجمي ("1) فان بعد النجم عن الشمس يصبح 206265 وحدة فلكية، حيث تعرف الوحدة الفلكية بأنها متوسط المسافة بين الأرض والشمس، وهذه وحدة مناسبة لقياس الأبعاد ضمن افراد المجموعة الشمسية، ولكنها لا تصلح لقياس الابعاد النجمية الساحقة، ولذلك يستخدم وحدة قياس اكبر منها تدعى بالبارسك parsec او (الفرسخ النجمي)، حيث يعادل 206265 وحدة فلكية، وبناءً على ذلك فان بعد النجوم يعطى بالعلاقة:

$$d = \frac{1}{P''} \text{ (Parsec)}$$

وتستخدم احياناً وحدة اخرى لقياس الابعاد النجمية تدعى بالسنة الضوئية (Light Year)، وهي المسافة التي يقطعها الضوء في سنة واحدة، ولذلك فان الفرسخ النجمي يعادل 3,26 سنة ضوئية، ويلاحظ بأن زاوية التزيح النجمي تتناقص مع زيادة بعد النجم (d). ويمكن قياس زوايا تزيح نجمي حتى "0.01 والتي تناظر ابعاداً نجمية تصل الى (100) فرسخ نجمي أو

(326) سنة ضوئية. وعلى كل حال فهناك جزء ضئيل من النجوم المتواجدة على ابعاد (20) فرسخ نجمي لها زاوية تزيح كبيرة والتي يمكن قياسها بدقة تصل الى 10% او افضل من ذلك. ولذلك تستخدم طرق اخرى غير مباشرة لحساب ابعاد النجوم البعيدة جداً.

مثال : إذا كانت زاوية التزيح لأقرب النجوم إلينا عدا الشمس وهو نجم ألفا قنطورس تبلغ "0.763 فما هو بعده عن الأرض؟

$$d = \frac{1}{P''} = \frac{1}{0.763} = 1.31 \text{ parsec} = 4.27 \text{ Light year}$$

لاحظ ان بعد النجم في العادة يدل على المسافة بين مركز النجم ومركز الشمس، وفي الأوقات التي نستعمل فيها هذا البعد للدلالة على المسافة بين مركز النجم ومركز الأرض فان الفرق بين الاثنين هو نصف قطر مدار الارض، وهذا الفرق لا قيمة له بالمقارنة مع الابعاد النجمية. وفي خلال عملية قياس زاوية التزيح النجمي يجب اجراء بعض التصحيحات على القراءات نتيجة تاثير حركة النجم او حركة المشاهد او نتيجة انكسار الضوء بواسطة الغلاف الجوي للأرض. وخلال الستة شهور المنصرمة بين المشاهدات ربما تكون النجوم قد تحركت من مكانها بالنسبة للنجوم الاخرى كما ان المجموعة الشمسية بالاضافة للمشاهد ربما تكون قد غيرت مكانها. ومعظم هذه التصحيحات تؤخذ اتوماتيكياً بعين الاعتبار عند قياس زاوية التزيح النجمي.

5 : 2 : 2 قياس حركة النجوم Measurement of Stellar Motion

تتحرك النجوم في السماء بسرعات عالية على الرغم اننا لا نلاحظ اي تغير في مواضعها النسبية خلال سنة وحتى خلال آلاف السنوات، وكنا نتوقع ان تعمل هذه الحركات النجمية على تغير شكل الابراج النجمية، ولكن يبدو ان شكل الابراج النجمية يبقى ثابتاً لسنوات طويلة، ويعود ذلك لبعدها الساحق عنا، والى ضآلة الحقبة الزمنية التي بدأ العلماء فيها بمراقبة النجوم ودراستها، وتتطلب عملية قياس سرعة النجم الى دقة عالية، اذ ان حركة المشاهد نفسه قد تعقد المسألة اكثر، وتنتج حركة المشاهد عادة عن مجموعة حركات عديدة منها:

أ) دوران الارض حول محورها.

ب) التغيرات الطفيفة على اتجاه محور دوران الأرض نفسه.

ج) الحركة المدارية للأرض حول الشمس

د) حركة الشمس والمجموعة الشمسية في الفضاء.

ان هذه الحركات معاً تسبب ازاحات للنجوم تدعى بالحركات العامة (او العادية) Common Motions والتي ليس لها علاقة بالحركة الحقيقية للنجوم. وذلك يجب ان تطرح هذه الحركات العامة من الازاحات الكلية للنجوم. للحصول على الحركات الحقيقية. والان لنتعرف على سرعة حركة النجوم .

ا) السرعة الفضائية المتجهة $\vec{V}$ Space Velocity

وهي تمثل قيمة السرعة الكلية الحقيقية للنجم في الفضاء بالنسبة للشمس، ويبلغ عدة كيلو مترات في الثانية وتحسب من مركبتيها:

1) السرعة الشعاعية (النصف قطرية V_R) Radial Velocity

وهذه تمثل قيمة السرعة باتجاه خط الرؤيا نحو الشمس او بعيداً عن الشمس وتحدد قيمتها من تحليل الطيف النجمي، وتستعمل قاعدة دوبلر في هذه الحسابات حيث تنص على ان الأطوال الموجية المشاهدة للطيف الناتج عن مصدر ضوئي مقترب تكون أقل مما هي عليه حقيقة وتنزاح نحو الزرقة اما الطيف الناتج عن مصدر ضوئي مبتعد فان اطواله الموجية المشاهدة تزيد عما هي عليه حقيقة وتنزاح نحو الحمره اما الصيغة الرياضية لهذه القاعدة فهي

$$V_R = C \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$$

حيث λ_0 هي الطول الموجي الحقيقي للضوء، و V_R السرعة النسبية الشعاعية بين المشاهد والنجم و C سرعة الضوء و $\Delta\lambda = (\lambda - \lambda_0)$ وهي تمثل الفرق بين طول موجة الضوء المقاسة بواسطة المشاهد والطول الحقيقي للضوء النجمي. وتعتبر سرعة النجم الشعاعية موجبة اذا كان مبتعداً عن الشمس، وسالبة إذا كان النجم مقترباً من الشمس. وعملياً يستخدم التصوير الفوتوغرافي، في مثل هذه القياسات. حيث تلتقط صورة لطيفين في نفس الوقت على نفس اللوح الفوتوغرافي فوق بعضهما البعض، احدهما لطيف النجم والآخر لضوء ناتج عن طيف

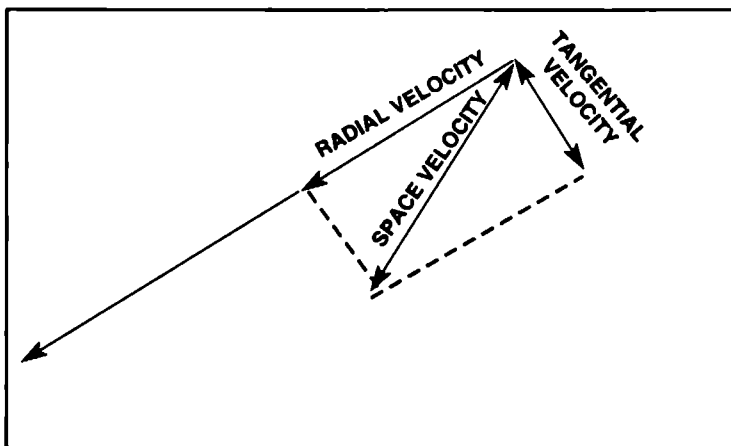
عنصر الحديد للمقارنة. فإذا لم يكن للنجم سرعة شعاعية، فان الخطوط الطيفية النجمية لعنصر الحديد تنطبق على خطوط الحديد في الطيف المقارن وستتوزع تلك الخطوط في الطيفين بشكل متماثل. اما اذا كان للنجم سرعة شعاعية فان الخطوط الطيفية للحديد ستنزاح عن بعضها البعض. وبالامكان الحصول مباشرة على التغير في الطول الموجي ($\Delta\lambda$) لأي من خطوط الحديد ذو الطول الموجي (λ) من اللوح الفوتوغرافي. والجدير بالذكر ان اكبر سرعة شعاعية معروفة لنجم جنوبي هي 547 كغم/ث وزاوية ميله ($\delta = 29^0$)

2) السرعة المماسية **Tangential Velocity V_T**

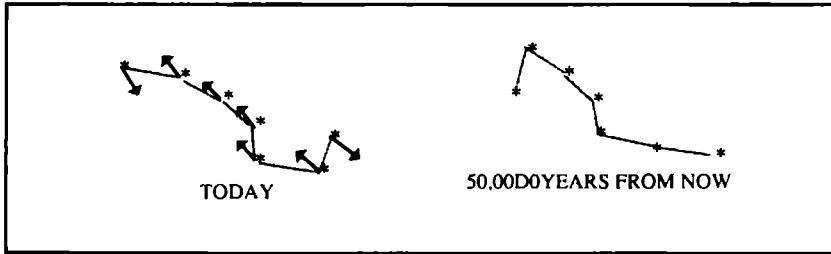
وهي تمثل سرعة النجم الحقيقية في اتجاه عمودي على خط الرؤيا (حركة مستعرضة) وتقاس عادة بوحدات كم / ث. ولا يمكن ايجادها مباشرة، بل نحصل عليها من معرفتنا للسرعة الزاوية للنجم وبعده عن الأرض باستخدام العلاقة التالية:

$$V_T = \omega r \ \ km / sec$$

ومن الشائع تسمية السرعة الزاوية للنجم بالحركة الذاتية Proper Motion وتقاس عادة بالثواني القوسية لكل سنة، ويوضح الشكل (2 - 5) ارتباط المركبتان الشعاعية والمماسية بالسرعة الفضائية المتجهة بالعلاقة التالية:

$$V^2 = V^2_R + V^2_T$$

الشكل (2 - 5) يمثل السرعة الفضائية للنجم

ب) السرعة الزاوية للنجم (الحركة الذاتية) Proper Motion

وهي تمثل التغير التدريجي لموقع النجم الظاهري بالنسبة الى نجوم الخلفية في القبة السماوية. حيث يكون لكل نجم في السماء سرعته المتجهة الخاصة به، والذي نشاهده من على الأرض هو الحركة الذاتية للنجوم، وتقاس عادة بوحدات زاوية. ان قياس مثل هذه الحركات الصغيرة، يتطلب منا اجراء قياسات عملية لمواقع النجوم، ولفترات زمنية طويلة الأمد حيث تؤخذ صورتين فوتوغرافيتين لمنطقة معينة من السماء، الفترة الزمنية الفاصلة بينهما حوالي (30) سنة تقريباً. ثم تقارن الصورتين من خلال الميكروسكوب الغامز Blinking Microscope حيث يوجد به مصدر إضاءة يعمل على إضاءة الصورة الأولى أولاً بينما الثانية مظلمة، ثم يعاود اضاءة الصورة الثانية بينما الأولى مظلمة، وهكذا على التوالي وبسرعة فائقة، فتظهر النجوم التي تحركت بمعدل "6 لكل 30 سنة (غامزة) او متلألئة، بينما بقية النجوم الأخرى تظهر بضوء ثابت الشدة، هذا وتبلغ الحركة الذاتية للنجوم المرئية بالعين المجردة حوالي ("0.1) لكل سنة وعلى هذا المعدل فلا يمكننا ملاحظة اي تغير ظاهري على التشكيلات النجمية. ولكن اذا قدر لنا ان نعود ونراقب السماء بعد 50 الف سنة من الآن فان التشكيلات النجمية ستبدو مختلفة عما هي عليه الآن كما في الشكل. (3 - 5)

الشكل (3-5) يوضح الحركة الذاتية لنجوم كوكبة الدب الكبير

وكما هو متوقع يكون للنجوم القريبة حركات ذاتية كبيرة نسبياً مثل النجم برنارد (10.3) ثانية قوسية / سنة في حين يكون للنجوم البعيدة حركات ذاتية طفيفة ولذلك نستخدمها كعلامات لترينا كيف تنتقل النجوم القريبة.

جـ) العلاقة بين السرعة المماسية للنجم والحركة الزاوية

افرض ان نجماً يبعد مسافة (r) كم عن الشمس وبالاتجاه المبين $\overleftrightarrow{AB}$ في الشكل (4 - 5)،

إذا كانت ازاحة النجم هي $\overleftrightarrow{BC}$ خلال سنة واحدة فيظهر في الاتجاه الجديد $\overleftrightarrow{AC}$، بحيث يصبع زاوية (″α) وبناءً على ذلك يمكن ايجاد كل من السرعة الشعاعية والماسية خلال نفس الفترة الزمنية. وبما أن المسافات النجمية عن الشمس كبيرة جداً فيمكن اعتبار ان الزاوية (″α) صغيرة جداً، وان الازاحة $\overleftrightarrow{BE}$ هي قوس من دائرة مركزها الشمس (او الراصد على الارض). ونصف قطرها (r) وعلى هذا نستنتج ان:

$$\frac{BE}{2\pi r} = \frac{(\alpha'' / 60 \times 60)^0}{360^0}$$

$$BE = \frac{(2\pi r)\ (\alpha'')}{360 \times 3600} = V_T\, t$$

$$V_T = \frac{\alpha''\ (2\ \pi r)}{360 \times 3600 \times t}$$

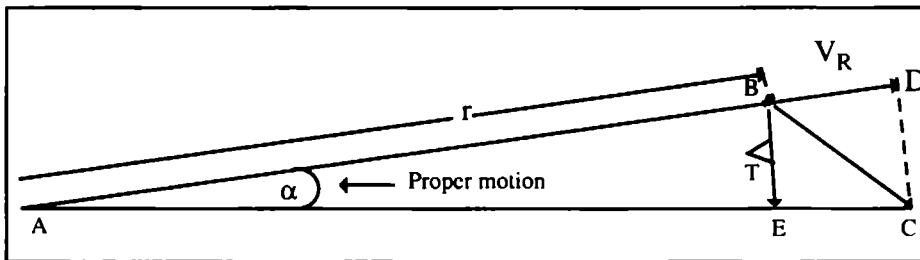
$$V_T = \frac{\alpha''\ r}{6.48 \times 10^{12}} \quad \text{Km/sec}$$

حيث عوّضنا القيمة ($t = 3.15 \times 10^7$ sec) وإذا كان بعد النجم (r) مقاساً بالفرسخ النجمي فبالتعويض عنه بدلالة زاوية التزيح ثم بوحدات الكيلومتر

(الفرسخ النجمي = 3.08×10^{13} km)، وينتج ان السرعة الماسية للنجم تعطى بالعلاقة:

$$V_T = \frac{\alpha''}{6.48 \times 10^{12}} \cdot \frac{1\ (\text{parsec})}{P''} = \frac{\alpha'' \times 30.8 \times 10\ 12}{6.48 \times 10^{12} \times P''} = \frac{4.74\alpha''}{P''}$$

$$\alpha'' = \frac{V_T}{4.74\ r}$$

حيث ″α : الحركة الزاوية (الذاتية للنجم) و ″P : زاوية التزيح النجمي

شكل (4–5) يمثل العلاقة بين مركبات السرعة الفضائية للنجم مع حركته الذاتية

3 : 5 قياس السطوع النجمي (Measurement of Stellar Brightness)

1: 3: 5 تصنيف هيبارخس النجمي

قام العالم الفلكي الاغريقي هيبارخس Hipparchus في القرن الثاني قبل الميلاد، بتصنيف حوالي 1000 نجم مرئي للعين المجردة وفق ترتيب سطوعها الظاهري الى ست مراتب حيث صنف اكثر النجوم سطوعاً كما تظهر من الأرض وعددها عشرون نجماً في المرتبة الأولى او القدر الأول (m = 1) وصنف الخمسون نجماً التي تليها في درجة السطوع الظاهري في المرتبة الثانية (m = 2) وهكذا الى ان صنف بضع مئات من النجوم المتبقية والتي تكاد ترى بالعين المجردة بنجوم المرتبة السادسة (m = 6) وهكذا فان النجوم اللامعة تقابل اقدار نجمية منخفضة اما النجوم الخافتة اللمعان فتقابل اقدار نجمية مرتفعة.

ولقد استمر العمل بنظام الاقدار النجمية حتى اليوم حيث عمل الفلكيون على ادخال بعض التحسينات على طريقة قياس الاقدار النجمية الظاهرية بكل دقة ممكنة بدلاً من الاعتماد على تقديرات العين البشرية غير المطمئنة. وفي القرن التاسع عشر ادخلت الفاصلة العشرية في نظام الاقدار. حيث يكون السطوع الظاهري لنجم ذو قدر ظاهري (5.5) متوسطاً ما بين السطوع الظاهري لنجمين قدرهما (5.0 و 6.0) على التوالي. وبالمثل إذا قلنا ان النجم القطبي الشمالي (Polaris) له قدر نجمي ظاهري (m = 2.1) فاننا نعني ان سطوعه الظاهري يقل بكمية بسيطة جداً عن السطوع الظاهري لنجم اخر من القدر (m = 2.0) اما العلاقة ما بين القدر النجمي الظاهري (m) والسطوع الظاهري للنجم (b) فهي تعتمد على قانون الفيزيولوجيا العصبية الذي اكتشف من قبل العالم فيبر Fibre وفيجنر Wagner في القرن التاسع عشر. والذي ينص على انه إذا ازدادت شدة منبه ما كالسطوع النجمي على شكل سلسلة هندسية مثل 1 ,2 ,4 ,8 ,16,..... الخ فان التأثير الناتج عنه يزداد وفق سلسلة حسابية مثل 5,4,3,2,1 ...الخ، ويتلخص القانون رياضياً بالصيغة التالية:

$$[m = C - 2.5 \text{ Log } (b)]$$

حيث تمثل m : القدر النجمي الظاهري، C : كمية ثابتة تمثل المقياس الصفري لهذه الأقدار، b : تمثل لمعان النجم الظاهري من هذا القانون يتبين بشكل اولي أن نجماً من القدر

الثالث اشد سطوعاً بـ 2.512 ضعفاً من سطوع نجم من القدر الرابع وبناءاً على ذلك فإن النجوم التي يكون سطوعها الظاهري اقوى من السطوع الظاهري لنجوم القدر الأول بمقدار 2.512 ضعفاً تدعى بنجوم القدر الصفري ($m = 0$). اما تلك التي يكون سطوعها الظاهري اقوى من السطوع الظاهري لنجوم القدر الصفري بمقدار 2.512 ضعفاً فتدعى بنجوم القدر الأول السالب ($m = -1$) وعلى هذا الاساس فان النجم القوي اللمعان في السماء الليلية (سيريس Sirius) له قدر نجمي ظاهري ($m = -1.6$) وعلى نفس المقياس فان القدر النجمي الظاهري للشمس هو ($m = -26.7$) اما القمر عندما يكون بدراً فقدره الظاهري ($m = -12$) اما اقل النجوم سطوعاً والتي قيست باستخدام تلسكوبات كبيرة فهي من القدر الخامس والعشرون ($m = +25$) . والحقيقة ان مقياس الأقدار النجمية صمم على أساس الخواص الضوئية للعين البشرية، حيث ثبت ان عين الانسان تستطيع ان تميز بدقة المنابع الضوئية المختلفة، إذا كان الفرق في السطوع (2.5) ضعفاً بين المنبع والآخر. وعلى هذا فان العين لا تنظم قياس الانعكاس الخارجي للضوء بشكل مطلق وانما بعملية نسبية.

2: 3 : 5 النظام الكمي للأقدار النجمية

اقترح العالم نورمان بوقسون Norman R. Pogson نظاماً كمياً للأقدار النجمية يسمى نظام الأقدار النجمية الفوتوغرافية وهو المأخوذ به حالياً فلاحظ بأن كمية التدفق الضوئي الواصلة الينا من نجم من القدر الأول اشد بحوالي مئة مرة من التدفق الضوئي الواصل الينا من نجم اخر من القدر السادس وهذا يدل على ان فرقاً في الأقدار النجمية مقداره ($\Delta m= 5$) يتوافق مع نسبة في التدفق الضوئي مقدارها (100:1) وهكذا فان النسبة بين التدفق الضوئي لنجمين يختلفان عن بعضهما بقدر ظاهري ($\Delta m=1$) يتوافق مع الجذر الخامس لـ (100) والذي يعادل 2.512 ضعفاً.

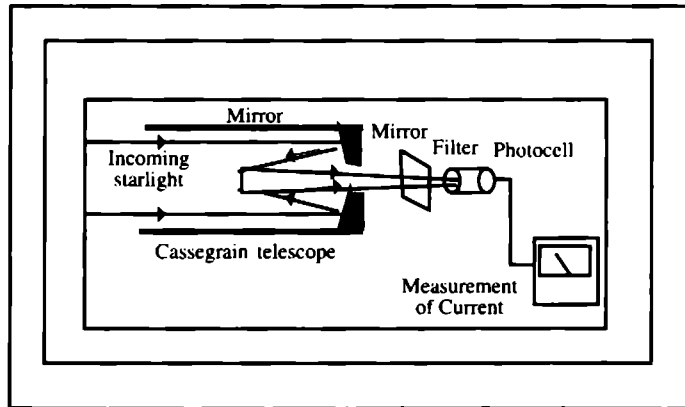
وبذلك اضحى نظام نورمان الجديد متفقاً مع الأقدار النجمية القديمة المستخدمة حينئذ، خاصة، عندما وُجِدَ أن النجمان الساطعان الدبران والطائر ينتميان الى نجوم القدر الأول. ولمقارنة السطوع النجمي وضع قانونه الجديد بالصورة الرياضية التالية:

$$m_1 - m_2 = 2.5 \log \frac{b_2}{b_1}$$

$$\frac{b_2}{b_1} = 10^{\left(\frac{m_1 - m_2}{2.5}\right)} = 10^{0.4(m_1 - m_2)}$$

حـيث m_1 , m_2 تمثل الأقـدار الظاهرية للنجـمين b_1 , b_2 تمثل شــدة السطوع الظاهري للنجمين (شدة التدفق الضـوئي).

3 : 3 : 5 قياس الاقدار النجمية بواسطة مقياس اللمعان الكهروضوئي
Photoelectric Photometry)

يتم حـاليـاً قـيـاس السـطوع النجـمي بواسـطة الفـوتومـتـرات الكـهـروضـوئيـة، وهي أجـهـزة تستـخدم لقياس شـدة الاستـضـاءة، حيث يجمـع الضـوء الصـادر عن النجم بواسطة التلسكوب في البؤرة ويسـمح له بالمرور من فتحة صـغيرة في صـفيحة معدنية ومنه الى السطح الحسـاس للضـوء والمعروف بالمضـاعف الضـوئي Photomultiplier فيكون تياراً الكترونياً ويُضـخّم لدرجة كبيرة حيث يتم قراءة شدة التيار وليكن (I_1) امبير ويدل شدة التيار هنا على كمية التدفق الضـوئي المار من الفتحة الصغيرة والناتجة عن النجم وضـوء السماء الليلية معاً وبعدها تزاح الفتحـة الى احد جوانب الصـورة النجمية بحيث يسمح للضوء القـادم من السـمـاء الليلية فقط بالمرور وتقرأ شدة التيار ثانية ولتكن (I_2) امبير ويؤخذ الفرق بين القراءتين السابقتين كمقياس للتدفق الضـوئي النجمي القادم الى التلسكوب كما في الشكل (5 - 5).

الشكل (5 - 5) يمثل طريقة قياس الاقدار النجمية

والحقيقة ان المضاعف الضوئي مفيد لقياس السطوع النجمي الظاهري لنجم منفرد وفي السنوات الأخيرة الماضية استخدم الفلكيون اجهزة كاشفة متطورة Charge Coupled Devices (CCD) (كاميرات تلفزيونية) حيث تقوم بتسجيل السطوع الظاهري الدقيق وبزمن تعريض واحد لجميع النجوم التي تظهر في مجال الرؤيا كل على انفراد. كما يحدث في العناقيد النجمية عادة، وحتى يكون النظام الكمي للأقدار النجمية مبنياً على اسس واضحة فمن الضروري اختيار عدد قليل من النجوم والمنتشرة في مناطق متعددة من السماء لتستخدم كنجوم عيارية لاغراض المقارنة اما الأقدار النجمية لهذه النجوم العيارية فاختيرت بطريقة بحيث ان اقوى النجوم سطوعاً حسب التقليد التاريخي ما زالت تقريباً من القدر الأول وهكذا يمكن ايجاد علاقة بيانية بين شدة التيار والسطوع النجمي الظاهري او (القدر النجمي الظاهري).

4 : 3 : 5 الاقدار النجمية الظاهرية (m_B , m_V)

لما كانت النجوم تبعث اشعاعات ضوئية على مدى واسع من الأطوال الموجة (المرئية وغير المرئية) وبكميات متفاوتة من الفوتونات الضوئية عند كل طول موجي حسب درجة حرارة سطح النجم، لذلك يقوم الفلكيون عادة بقياس السطوع النجمي الظاهري باستخدام مرشحات ضوئية مناسبة، توضع امام الفوتومتر الكهروضوئي وتسمح بمرور (اللون الاصفر) المرئي (V) حيث يمكن اخذ قياسات للقدر الظاهري تقارب القياسات التي تقدر بالعين البشرية وتدعى هذه الاقدار بالاقدار المرئية البصرية Visual Magnitudes .

وتتوقف الاقدار المرئية m_V على حساسية العين للألوان حيث تبلغ نهاية عظمى في منطقة الضوء الاصفر لذا يدعى الضوء المرئي بالضوء الاصفر لأنه صدر اصلاً من الشمس.

وباستعمال مرشحات ضوئية اخرى تسمح بمرور اللون الازرق (B) حيث يمكن اخذ قياسات تقارب الاقدار التي توجد بالوسائل الفوتوغرافية وتسمى (الاقدار الفوتوغرافية Photographic Magnitudes ، وتتوقف الاقدار الفوتوغرافية (m_B) على حساسية الطبقات الحساسة المستعملة عادة للألواح الفوتوغرافية وهي شديدة الحساسية للون الأزرق. ويقوم الفلكيون بقياس الأقدار النجمية في منطقة فوق البنفسجي (U) باستخدام مرشحات خاصة ويستخدم الفلكيون ايضاً القدر المضرمي (البلومتري m_{bol} Bolometric Magnitude، وهو

مقياس لجميع الطاقة الضوئية المنبعثة من النجم وعلى مختلف الأطوال الموجية المرئية وغير المرئية.

وحري بنا ان ننوه انه من الصعب قياس النورانية النجمية مباشرة من على الارض لأن بعض الأطوال الموجية (اشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية) يمتص ويتشتت قسماً منها خلال إختراقها للغلاف الجوي الارضي كذلك بواسطة المادة السديمية في فضاء ما بين النجوم ومع ذلك فإن معظم الاشعاعات التي تصدر عن نجوم درجات حرارتها مماثلة للشمس تصل سطح الأرض لهذا يمكن حساب اقدارها البلومترية بصورة تقريبية، وهناك انواع من النجوم التي هي اكثر سخونة او ابرد من حرارة سطح الشمس تبعث اشعاعات معظمها في منطقة فوق البنفسجي او ما تحت الحمراء وكل منها لا يسمح له بالمرور كاملاً من خلال الغلاف الجوي الارضي، ولهذا لا يمكن قياسها من على الارض الا اذا استعملت الصواريخ او الاقمار الاصطناعية عائمة في الفضاء فوق غلاف الأرض الجوي والمحملة بالتلسكوبات والأجهزة الأخرى.

5 : 3 : 5 الأقدار النجمية المطلقة Absolute magnitude(M)

عند استخدام طريقة المقارنة الكمية للمعان النجوم فإننا نجد بأن لمعانها الظاهري يختلف من نجم لآخر. ونحن ندرك أن النجوم تقع على ابعاد مختلفة منا على الأرض، فهل يعود هذا الإختلاف في السطوع الظاهري إلى اختلاف أبعادها عنا أم إلى اختلافات جوهرية في لمعانها الحقيقي؟

ولنجيب على هذا التساؤل، نرجع إلى قانون التربيع العكسي لإنتشار الضوء، فإذا كان هناك نجمان متساويان في اللمعان الحقيقي ولكنهما يقعان على مسافتين مختلفتين منا، فإن أقربهما سوف يظهر اكثر لمعاناً من الآخر، ونحن نعلم أن الشمس تظهر أكثر لمعاناً على الأرض منها على المشتري أو زحل، وعلى ذلك لا يفيدنا المظهر بشيء في معرفة مقدار اللمعان الحقيقي للنجم، ولذلك فكّر العلماء بوضع النجوم جميعها على سطح كرة معلوم نصف قطرها عنا، وهو عشرة فراسخ نجمية (10 بارسك) فيمكننا المقارنة بينها في الحال حيث تصبح الاختلافات الظاهرية في اللمعان، اختلافات حقيقية. وبهذا نكون قد تخلصنا من عامل المسافة، ويمكن التعبير عن السطوع الظاهري بالعلاقة:

$$b = \frac{AL}{r^2}$$

حيث (L) يعبر عن اللمعان الحقيقي (النورانية النجمية)

و (b) السطوع الظاهري للنجم.

و ((r بعد النجم عنا على الأرض. و (A) ثابت التناسب ويساوي $\frac{1}{4\pi}$

فعند استخدام (r = 10 parsec) لجميع النجوم في العلاقة السابقة فإن السطوع الظاهري المحسوب لكل منها يعبر عن السطوع الحقيقي لذلك النجم أو قدره المطلق (M) والذي يمثل القدر الظاهري للنجم عندما يكون على مسافة (10) بارسك منا. فالشمس التي لها قدر ظاهري مرئي ($m_V = -26.7$) سيكون قدرها المطلق المرئي($M_V = +4.9$) إذا كانت على البعد القياسي السابق (أي يصبح نجماً خافتاً في سمائنا الليلية). ويمكن قياس القدر النجمي المطلق في المنطقة المرئية أو الزرقاء أو الأشعة الفوق بنفسجية من الطيف النجمي (M_v, M_B, M_u) ومتى تم ذلك امكن حساب القدر النجمي المطلق البلومتري (M_{bol}) الذي يعبر عن النورانية النجمية الكلية.

6 : 3 : 5 معامل البعد Distance modulus(m - M) :

لمّا كان القدر النجمي المطلق (M) يعبر عن النورانية وهي مقدار الطاقة الضوئية الحقيقية التي يبعثها النجم إلى الفضاء الخارجي فيما لو كان على بعد قياسي ثابت، فإن القدر النجمي الظاهري (m) يعتمد على نورانية النجم وبعده عنا ويدعى الفرق بينهما بمعامل البعد (m_V - - M_V).

ويمكن حساب معامل البعد لنجم معين، باستخدام قانون التربيع العكسي لإنتشار الضوء، على فرض ان (b_1) تمثل السطوع الظاهري للنجم عندما يكون بعده الحقيقي (r_1)، و (b_2) تمثل السطوع الحقيقي للنجم عندما يكون بعده (r_2 = 10 parsec)

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{{r_2}^2}{{r_1}^2}$$

ومن ناحية أخرى يمكن تحديد بعد النجم الحقيقي عنا إذا علمنا معامل البعد، من العلاقة التالية:

$$m - M = 5 \text{ Log } (\frac{r}{10})$$

حيث (r) بعد النجم الحقيقي بالفرسخ النجمي والجدير بالذكر أنه إذا كان معامل البعد يساوي صفراً فإن بعده الحقيقي يكون عشرة فراسخ نجمية.

7 : 3 : 5 الدليل اللوني Color Index

يعين الدليل اللوني بواسطة استخدام مقياسين ضوئيين فوتوغرافين احدهما حساس للضوء الأزرق والآخر حساس للضوء المرئي (الأصفر) حيث يختلف اللمعان هنا حسب لون النجم، وهذا الإختلاف يسمى بالدليل اللوني وهو يرتبط بدرجة حرارة هذه النجوم. ويحدد قيمته، بطرح القدر الظاهري المرئي (m_V) من القدر الظاهري (m_B).

الدليل اللوني = $m_B - m_V$.

وعلى هذا فإن النجم الساخن الذي يشع ضوءاً باللون الأزرق أكثر منه باللون الأصفر، فسيكون له قدر أزرق أقل ولذلك يبدو ألمع في منطقة اللون الأزرق، ويكون قدره المرئي أكبر لأن سطوعه في المنطقة المرئية الصفراء يكون ضعيفاً، ولذلك فالدليل اللوني يكون سالباً للنجوم الساخنة. أما النجوم الباردة فيكون دليلها اللوني موجباً حيث يشع النجم في هذه الحالة ضوءاً مرئياً (أصفر) أكثر من اللون الأزرق، ولذلك فإن قدره المرئي سيبدو اقل لسطوعه الكبير، ويكون قدره الأزرق أكبر لسطوعه القليل في هذه المنطقة الموجية الزرقاء، وبناءً على ذلك يكون دليله اللوني موجباً. ففي النجوم الحمراء والصفراء يكون دليل اللون موجباً وحوالي (2.1 +) أما النجوم الزرقاء الساخنة جداً فدليلها اللوني يكون سالباً وحوالي (0.6-) والشمس دليلها اللوني (0.6+) ولقد أختيرت الأقدار النجمية الظاهرية في مناطق الفوق بنفسجي (m_u) والمنطقة الزرقاء (m_B) والمنطقة المرئية (الصفراء) m_V بحيث تكون متساوية ولتعطي دليل لوني أصفر تقريباً لنجم درجة حرارته حوالي 10^4K (ذو لون ابيض)، بحيث تكون العلاقة التالية صحيحة:

$$m_B - m_V = (m_U - m_B)$$

ويجب ملاحظة أن الدليل اللوني لنجم ما لا يتغير، بتغيير بعد النجم، ولهذا فإنه يمكن تعريف الدليل اللوني بدلالة الأقدار النجمية الظاهرية أو الأقدار النجمية المطلقة بحيث أنه:

$$m_B - m_V = M_B - M_V$$

وسنبحث لاحقاً تأثير الإمتصاص الذي يتم في وسط ما بين النجوم على الدليل اللوني قبل وصوله إلى الأرض، وهذا له تأثير غير مباشر على ايجاد بعد النجوم عنا على الأرض.

4 : 5 قياس الأطياف النجمية وتصنيفها Stellar Spectra

تعتبر النجوم كرات ملتهبة من الغاز درجات حرارة سطوحها مرتفعة جداً تصل إلى عشرات الألوف من الدرجات الحرارية المطلقة حيث تنتج طاقة هائلة على شكل فوتونات قصيرة الموجة تنتقل من باطن النجم إلى السطح، حيث يستغرق زمن وصوله عشرات الألوف من السنوات. وخلال رحلة الفوتون الضوئي الطويلة، هذه، يصطدم مع ذرات الهيدروجين العديدة تصادماً مرناً، بحيث يخسر جزءاً من طاقته ويزداد طوله الموجي تدريجياً، وبسبب هذه التصادمات العنيفة ترتفع طاقة الالكترونات الذرية إلى مستويات مثارة والتي لا تلبث أن تبعث طيف انبعاثي، غني بعدد كبير من الخطوط التي تستطيع أن تغطي تقريباً كامل ألوان الطيف الكهرومغناطيسي. وبسبب كثافة الغاز العالية في النجم، فإن الاصطدامات تتكرر بكثرة مما يؤدي إلى اضطراب وضع الالكترون في حالته المثارة، تحت تأثير تصادم آخر، وهذا ما يضطره للهبوط الى حالته الأرضية قبل أن يتم فترة إثارته الطبيعية ويدعى هذا (بالاصدار المحرض) إن مثل هذه الاضطرابات التي قد يخضع اليها الالكترون، تخفف من حدة الانتقال الى الحالة الأرضية وتؤدي إلى توسع الخط الطيفي جاعلة إياه على شكل حزمة عريضة من اللون، ونتيجة لذلك فقد تتداخل الخطوط الطيفية المتجاورة مع بعضها وتندمج لتشكل الطيف المستمر بالوان قوس قزح المعروفة، وهذا هو شكل الضوء عند وصوله سطح النجم (الفوتوسفير).

ولما كانت النجوم لها اغلفة جوية باردة نسبياً فوق سطوحها، تحتوي على نفس العناصر التي يحتويها باطن النجم، ولكن بكثافة قليلة جداً. فوجب على الضوء المنبعث (ذو الطيف المستمر) أن يمر خلال جوه الخارجي.

فتقوم الذرات بجوه، بإمتصاص بعض الأطوال الموجية من الطيف المستمر حيث تنتقل الألكترونات في الذرات من مستويات طاقة متدنية الى مستويات أعلى فتظهر كخطوط امتصاصية قاتمة مميزة موزعة على ألوان الطيف الكهرومغناطيسي.

ويعتمد انتقال الألكترونات هذا على عاملان هما: درجة حرارة الغاز في اجواء النجوم وعلى ضغطه ايضاً.

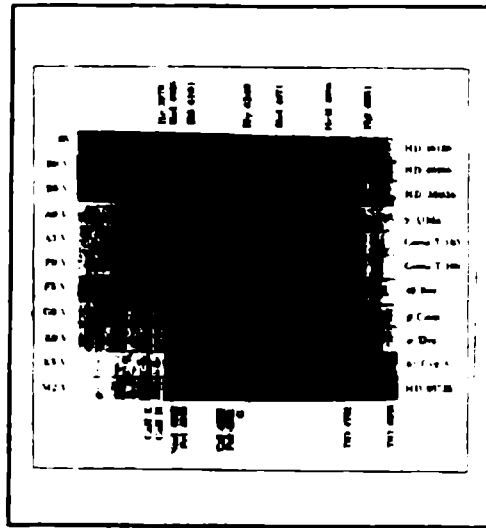
فلنتصور غاز الهيدروجين البارد (3000K) وعند ضغط متوسط الإنخفاض، فإن جميع ذراته تقريباً تكون متعادلة في حالتها الأرضية، وغير مثارة إلى مستويات أعلى. ولأن متوسط طاقة الحركة الحرارية للذرة صغيرة نسبياً، لذلك فإن الإنتقالات الإلكترونية المسموح بها هي تلك التي تحتاج الى امتصاص فوتونات فوق بنفسجية واقعة في سلسلة ليمان (الحالة الأرضية - مستويات إثارة أعلى).

أما مجموعة بالمر (المستوى المثار الأول إلى مستويات مثارة عليا) والواقعة في المنطقة المرئية فهي ضعيفة جداً هنا. ولنفترض الآن أن حرارة غاز الهيدروجين في جو نجم آخر كانت أعلى من السابق (6000 K)، فإن عدداً اكبر من ذرات الهيدروجين تكون موجودة في مستويات مثارة (بسبب التصادم فيما بينها)، لذلك سيحدث انتقالات الكترونية من الحالة المثارة الأولى لمستويات مثارة أعلى، بشكل متكرر وسيظهر طيف النجم محتوياً على خطوط امتصاصية قاتمة اللون ضمن مجموعة بالمر المرئية، وستكون اشد كثافة من حالة النجم الأبرد. وإذا كانت درجة حرارة غاز الهيدروجين في جو نجم آخر أعلى من السابقة (10000 K) فإن العديد من ذرات الهيدروجين قد يكون غير متأين ولكن عدد ذرات الهيدروجين في الحالة المثارة الأولى يصبح أكبر، وستزداد شدة خطوط الإمتصاص الموافقة لمجموعة بالمر، مما قد يوحي لنا بأن كمية الهيدروجين تزداد من نجم لآخر مع ازدياد درجة حرارة النجوم، وهذا ليس صحيحاً لأن كثافة الهيدروجين واحدة في اجواء النجوم، ولكن السبب الحقيقي يرجع الى الإختلافات في درجة حرارة سطوح النجوم المختلفة.

وإذا أصبحت درجة حرارة غاز الهيدروجين حوالي (20000 K) كما في اجواء النجوم الحارة جداً، عندها تتخلى معظم ذرات الهيدروجين عن الكتروناتها (أي يكون جميع الهيدروجين متأيناً تماماً) اي ينفصل كلاً من الألكترون والبروتون عن بعضهما، فلا يستطيع الهيدروجين المتأين (البروتون) أن يمتص فوتونات ضوئية، وهكذا تصبح خطوط الهيدروجين الإمتصاصية ضعيفة جداً وفي مرحلة لاحقة يصعب فيها مشاهدة خطوط الهيدروجين الأمتصاصية كما في النجوم الحارة (50000 K) لأن نسبة ضئيلة من ذرات الهيدروجين تكون ما زالت محتفظة بالكتروناتها.

ولقد تم ترتيب النجوم في نظام خاص يسمى بالتتابع الطيفي، وقد رمز للأنواع الطيفية

بالحروف اللاتينية (O B A F G K M (R N S) ، كما في الشكل (6 - 5).

وكل حرف منها يدل على مجموعة معينة متميزة من النجوم، يمكن تعيينها بسهولة، حسب شدة خطوط الهيدروجين الإمتصاصية في طيفها. فالنوع الطيفي (A) هي للنجوم التي تكون فيها خطوط الهيدروجين الإمتصاصية اشد ما يمكن، ثم يليها النوع الطيفي (B) حيث تظهر شدة خطوط الإمتصاص الهيدروجينية أقل شدة وهكذا حتى نصل إلى النوع الطيفي (O)، وتختلف الأطياف النجمية عن بعضها البعض في قوة وطريقة توزيع هذه الخطوط الإمتصاصية والتي تعتمد على درجة حرارة سطح النجم ومن ثم درجة تأينها النسبي، وضغطها، ويدل الحرف الأول من اليسار (O) على أشد النجوم سخونة أما الحرف (s) فيرمز إلى ابرد النجوم. وكل من هذه الحروف ينقسم بدوره إلى مجموعات فرعية يرمز لها باعداد من (صفر) إلى (9) ، وتكتب بالانجليزية إلى يمين الرمز الطيفي. فالنجم K9 مثلاً هو ابرد نجم في النوع الطيفيK وهو في نفس الوقت اسخن من النجم Mo ، وتنتمي الشمس إلى النوع الطيفي G2.

الشكل (6 - 5) يمثل الأصناف الطيفية المختلفة

وإليك اهم مميزات كل صنف:

النوع M

وهو من ابرد انواع النجوم وتبلغ درجة حرارة سطوحها أقل من (3400 K) ، ويبدو لونها أحمر، يحتوي طيفها على خطوط امتصاصية متعددة لبعض الفلزات المتعادلة، ويغلب عليها

وجود حزم طيفية لجزيء أكسيد التيتانيوم ومن امثلتها (منكب الجوزاء، وقلب العقرب).

النوع K

وتتراوح درجة حرارة هذا الصنف من (5000 - 3500) وتحتوي على خطوط امتصاص لبعض الفلزات المتعادلة، بوضوح كبير وهناك حزم طيفية لجزيئات هيدروكربونية مثل (CH) وخطوط الهيدروجين ضعيفة ولكنها اقوى من النوع (M) ومن امثلتها (الدبران والسماك الرامح) حيث تظهر بلون برتقالي مائل إلى الحمرة.

النوع G

وتتراوح درجة حرارة هذا الصنف من 6000)k - 5000) وتحتوي على خطوط امتصاص عديدة لفلزات متعادلة ومتأينة خاصة الكالسيوم والحديد. أما خطوط الهيدروجين فيه أضعف من حالة الصنف (F). وتظهر حزم طيفية لجزيئات هيدروكربونية مثل (CH) بشكل قوي، وهي ذات لون أصفر مثل (الشمس والعيوق).

النوع F

وتتراوح درجة حرارة هذا الصنف من 7500)K - 6000) تزداد الخطوط الإمتصاصية للهيدروجين ولكنها أضعف من حالة الصنف (A) .. وتوجد خطوط امتصاصية لبعض الفلزات المتأينة احادياً مثل (الكالسيوم، والحديد، والكروم) وتضعف خطوط الفلزات المتعادلة كالحديد والكروم لأن مقداراً كبيراً من الذرات أصبحت متأينة وتظهر هذه النجوم بلون أبيض مصفرّ، ومن الأمثلة (سهيل، والشعرى الشامية).

النوع A

وتتراوح درجة حرارة هذا الصنف من k (11000 - 7500) حيث تقوى الخطوط الهيدروجينية إلى أقصى شدة لها أما خطوط معظم الفلزات المتأينة تأيناً أحادياً، أو ثنائياً مثل (الماغنيسيوم، والسليكون، والحديد، والتيتانيوم، والكالسيوم وغيرهم) فتأخذ بالضعف حين تصبح الذرات متأينة إلى درجة عالية، كما وتختفي الخطوط الطيفية التي تعود إلى بعض الفلزات المتعادلة وتظهر هذه النجوم بلون أبيض، ومن الأمثلة عليها (الشعرى اليمانية، ونجم النسر الواقع).

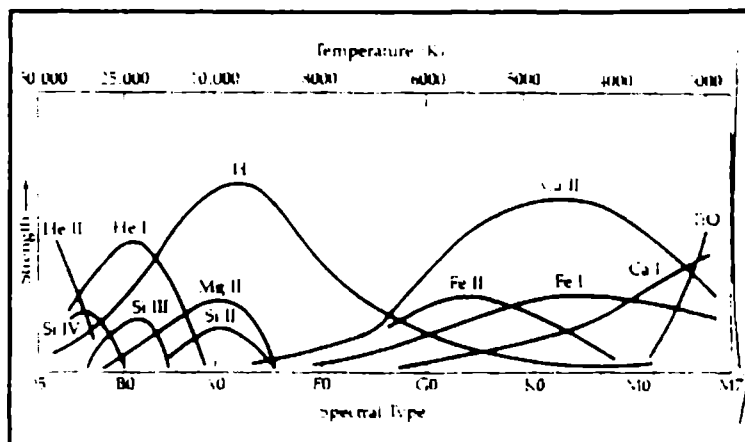
النوع B

تتراوح درجة حرارة هذا الصنف من k(11000 - 25000) وتحتوي على خطوط طيفية للهليوم المتعادل، وتظهر خطوط طيفية ضعيفة لفلزات متأينة احادية وثنائية (للسليكون، والأكسجين، والكربون والماغنسيوم)، وأما خطوط الهيدروجين فهي أقوى من حالة الصنف النجمي (O) وتظهر بلون أبيض مزرق، ومن الأمثلة عليها (رجل الجبار، والسماك الأعزل).

النوع O

تبلغ درجة حرارة هذا الصنف اكثر من k(25000) حيث تحوي عدد قليل نسبياً من خطوط الإمتصاص في المنطقة المرئية، ويوجد خطوط طيفية تعود إلى الهيليوم المتأين والنيتروجين الثنائي التأين، والسليكون الثلاثي التأين وانواع عديدة من العناصر الأخرى.

وتظهر خطوط هيدروجينية ضعيفة جداً. ولون هذه النجوم أزرق، ومن امثلتها (نجم λ في كوكبة قيفاوس).

ويوضح الشكل (7 –5) كيفية تغير شدة الخطوط الإمتصاصية لمختلف الأصناف الطيفية النجمية حيث تصل الخطوط الإمتصاصية لكل عنصر شدتها القصوى في نوع طيفي معين (أي عند درجة حرارة معينة) ويلاحظ أنه عندما تزيد شدة الخطوط الناشئة عن عنصر متأين تضعف الخطوط الناشئة عن نفس العنصر المتعادل. هذا ولقد اقترن مع تسمية الأنواع الطيفية المتعددة طريقة غير دقيقة تماماً لتصنيف النجوم، حسب تشكلها أولاً، فتدعى نجوم النوع (A,B,O) بنجوم من النوع المتقدم لأن الفلكين ظنوا أن نجوم النوع (o) هي أقدم النجوم عمراً وأنها كلما تقدمت بالعمر بردت تدريجياً إلى أن تصبح نجوماً من النوع (M) ويشار إلى النوعين M,K على أنها نجوم من النوع المتأخر. كذلك يدعى النجم من النوع (Fo) بنجم متقدم من النوع (F) بينما يدعى النوع F8 بنجم متأخر من النوع (F). وفي الحقيقة أن هذه التسمية ليس لها تعريف محدد، فقد يكون نجم من النوع (o) أو (B) أقل عمراً من نجم من النوع (M). وأما الأصناف الطيفية (R,N,S) فأعدادها قليلة جداً بين النجوم، ومعظمها نجوماً باردة، درجة حرارتها أقل من (3000 K) وتظهر حمراء اللون، ويعتقد العلماء أن النجوم من النوع (R,N) تحتوي على الكربون بنسبة وافرة، بينما نجوم النوع (s) فتحتوي على عنصر الزركونيوم بنسبة وافرة.

الشكل (7 - 5) يمثل شدة خطوط الامتصاص لمختلف الأصناف الطيفية

امثلة محلولة:

س1 نجم يقع على بعد (100) فرسخ نجمي قدره الظاهري ($m_V = 7.3$) احسب القدر النجمي المطلق M_V؟ نفرض أن سطوع النجم وهو على بعد 100 فرسخ نجمي هو b_1 وأن سطوعه المطلق وهو على بعد 10 فراسخ نجمية هو b_2 فتكون النسبة بين السطوعين هي:

$$\frac{b_2}{b_1} = \frac{(100)^2}{(10)^2} = \frac{100 \times 100}{10 \times 10} = 100$$

أي أن السطوع: $b_2 > b_1$ بمقدار مئة ضعف. وهذه تعادل فرق في القدر النجمي بحوالي (5) اقدار نجمية. حيث يمكن كتابة الزيادة في السطوع على النحو التالي:

أو

$$100 = (2.512)^n$$

$$\log_{10} 100 = n \log (2.512)$$

$$2 = n\,(0.4000196) = n\,(0.4)$$

$$n = \frac{2}{0.4} = 5$$

وبما أن : $m_2 < m_1 = b_2 > b_1$

$m_1 - m_2 = 5$ أو

$7.3 - m_2 = 5 = m_2 = 7.3 - 5.0 = 2.3$

س2 احسب بعد نجم ما إذا كان قدرة الظاهري $m_V = 7.2$ وقدره المطلق $M_v = 2.2$ جد معامل البعل النجمي؟ وما هو بعد النجم عنا؟

معامل البعد = $m_V - M_v$

$7.2 - 2.2 = 5.0$

ولإيجاد بعد النجم نستخدم احدى الصيغتين التاليتين:

$$r = 10^{[1 + 0.2 (m - M)]}$$

$$(m - M) = 5 \log (\frac{r}{10})$$

$$r = 10^{[1+0.2 (5)]} = 10^{[1 + 1]} = 100 \text{ parsec}$$

ويمكن حل السؤال بواسطة قانون التربيع العكسي لإنتشار الضوء.

بما أن $(m - M) = 5$ فإن الإختلاف في السطوع:

$$\frac{b_2}{b_1} = (2.512)^5 = 100$$

وبما أن $m>M$ إذن $b_1 < b_2$

أي أن:

$$\frac{b_2}{b_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2} = \frac{r_1^2}{(10)^2}$$

$$\frac{100}{1} = \frac{r_1^2}{(10)^2} \Rightarrow r_1^2 = 100 \times 100$$

$$r_1 = 100 \text{ parses.}$$

س 3 إذا كان معامل البعد النجمي ($m - M =$ صفر) فما هو بعده؟

$$d = 10^{[1 + 0.2 (m - M)]} = 10^{[1 + 0.2 (o)^0]} = 10 \text{ parsec.}$$

س4 إذا كانت زاوية اختلاف المنظر لنجم ما 0.75 ثانية قوسية فما هو بعد النجم عن الأرض؟

$$d = \frac{1}{p''} = \frac{1}{0.75} = \frac{100}{75} = 1.33 \text{ parsec.}$$

$$\text{or} \quad d = 1.33 \times 3.26 \text{ Light year.} = 4.3 \text{ Ly}$$

س5 إذا كان القدر الظاهري المرئي للشمس $m_V = -27$ بينما في مساء نفس اليوم كان القدر الظاهري المرئي للقمر $m_v = -17$ ما النسبة بين لمعان الشمس الظاهري إلى لمعان القمر الظاهري في ذلك اليوم؟

$$m_{vmoon} - m_{vsun} = -17 - (-27) = -17 + 27 = 10$$

وبما أن:

$$b_{sun} > b_{moon} \longleftarrow m_{sun} < m_{moon}$$

$$\frac{b_{sun}}{b_{moon}} = (2.512)^{10} = (2\text{-}512)^5\,(2.512)^5 = 100 \times 100$$

$$= 10^4$$

أو باستخدام العلاقة

$$\frac{b_2}{b_1} = 10^{0.4\,(m_1 - m_2)}$$

$$\frac{b_{sun}}{b_{moon}} = 10^{[0.4\,(-17 + 27)]} = 10^{[0.4\,(10)]} = 10^4 \text{ parsc}$$

س 6 نجم قدره الظاهري المرئي $m_v = 7.9$ يبعد عن الشمس مسافة 1000 فرسخ نجمي ما هو قدره المطلق المرئي؟

أ – من قانون المسافة ومعامل البعد $d = 10^{[1 + 0.2\,(m - M)]}$

$$10^3 = 10^{[1 + 0.2\,(m - M)]}$$

$$\therefore 3 = 1 + 0.2\,(X) \Rightarrow 1 + 0.2\,X$$

$$3 - 1 = 0.2\,x = 2$$

$$X = \frac{2}{0.2} = 10$$

$$\therefore\ m - M = 10 \Rightarrow M = m - 10 = 7.9 - 10.0 = - 2 -1$$

ب – من قانون التربيع العكسي لإنتشار الضوء وعلاقته بالسطوع

$$\frac{b_2}{b_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2} = \frac{(1000)^2}{(10)^2} = \frac{1000 \times 1000}{100} = 10000$$

$$\frac{b_2}{b_1} = 10^4 \Rightarrow (2.512)^n = 10^4 \Rightarrow n = 10$$

ولكن : $m_2 < m_1$

$$m_1 - m_2 = 10$$

$$m_2 = m_1 - 10 = 7.9 - 10.0 = -2.1$$

$$\therefore\ M = m_2 = -2.1$$

أسئلة الفصل الخامس

1 - احسب بعد النجم إذا كانت زاوية تزيحه بالنسبة لمركز الشمس تساوي 0.5 ثانية قوسية (بالفرسخ النجمي ثم بالسنة الضوئية).

2 - ما نوع الرصد النجمي اللازم لتحديد سرعة النجم القطرية.

3 - على ماذا يعتمد السطوع الظاهري للنجم؟

4 - ما هي الزيادة في القدر النجمي الظاهري إذا كانت الزيادة في سطوع نجم ما تساوي 15.85 ضعفاً.

5 - ما هي النسبة بين نورانيتي نجمين إذا كان القدر المطلق البلومتري للنجم A هو (1.5) وللنجم الآخر B هو (5 . 4).

6 - أيهما اكبر عددياً القدر البلومتري أم القدر الظاهري المرئي.

7 - أيهما اكبر عددياً (m_B) أم (m_V) لنجم بارد جداً، وما معامله اللوني.

8 - على ماذا تعتمد الحركة الذاتية الحقيقية للنجوم.

9 - كيف تميز بين الحركة الذاتية والحركة التزيحية (اللوصية) لنجم ما. وهل هناك حركة تزيحية للشمس كما ترى من الأرض.

10 - وضح لماذا تكون الخطوط الطيفية لعنصر ما كالهيدروجين متفاوتة الشدة من نجم لآخر على الرغم من ان نسبة وجود الهيدروجين واحدة في كل منهما.

11 - ما هو التصنيف الطيفي لنجم يحتوي طيفه على خطوط امتصاص لايونات الهيليوم.

12 - ما الهدف من استعمال مفهوم القدر النجمي المطلق.

13 - ما هي الحقيقة الأساسية المتعلقة بالأرض والتي تجعل إمكانية استخدام طريقة التزيح النجمي لتحديد الأبعاد النجمية ممكنة.

الفصل السادس

الخواص الطبيعية للنجوم

Fundamentel Stellar Properties

6 :1 تمهيد

لقد وضحنا حتى الأن الطرق القياسية العملية المختلفة التي يتمكن الفلكيون بواسطتها من الحصول على معلومات أساسية عن النجوم.

وسنحاول توضيح ما توصل إليه العلماء من نتائج حول الخواص الطبيعية المختلفة للنجوم.

6 : 2 النورانية النجمية Stellar Luminosity (L)

تعرف النورانية أو السطوع الحقيقي للنجم بأنها كمية الطاقة الضوئية الكلية التي يشعها النجم من سطحه إلى الفضاء على مختلف الأطوال الموجية. وتقاس عادة بوحدة ارغ / ثانية. وتقاس نورانية النجوم عادة بدلالة نورانية الشمس L_o وهي تعادل (3.9x1033) أرغ / ثانية، وتختلف النجوم في نورانيتها فهي تتراوح بين $10^{-4}\ L_o$ - $10^{6}\ L_o$.

وتعتمد نورانية النجم على عاملين هامين هما مساحة سطح النجم ومقدار الأشعة التي تشعها وحدة المساحة من سطحه الخارجي في وحدة الزمن، والتي تعتمد بدورها على درجة حرارة النجم السطحية، وكما مر معنا سابقاً، فإنه يمكن استخدام قانون ستيفان وبولتزمان لحساب النورانية النجمية من العلاقة التالية:

$$L = (4\,\pi\, R^2)\,\sigma\, T^4$$

حيث (R) يمثل نصف قطر النجم و (σ) ثابت ستيفان للإشعاع وتبلغ قيمته ($5.7\text{x}10^{-5}\ \ erg/cm^2.k^4$) و (T) درجة حرارة سطح النجم. والحقيقة أن القدر النجمي المطلق المرئي هو مقياس للنورانية المرئية، ولذلك يمكن استخدام أي منهما محل الاخر، ولهذا السبب إذا عرفنا أحدهما فيمكن معرفة الآخر، من الصيغة التالية:

$$M_v = 4.8 + 2.5\ Kog\ \frac{1}{L}$$

حيث: M تمثل القدر المطلق المرئي للنجم.
(4.8) تمثل القدر المطلق المرئي للشمس.
L : تمثل النورانية النجمية المرئية بدلالة نورانية الشمس المرئية.

ويستعمل الفلكيون عادة ثلاثة مقاييس متميزة للتعبير عن السطوع النجمي وهي القدر النجمي الظاهري (m) والقدر النجمي المطلق (M) والنورانية (L) مع العلم أن القدر الظاهري البلومتري لأي نجم على بعد 10 فرسخ نجمي يمثل القدر المطلق البلومتري لذلك النجم، وهذا يمثل بدوره نورانية النجم الكلية.

ويمكن تحديد نورانية مجموعة من النجوم تدعى بنجوم التتابع الرئيسي بمعرفة الكتلة النجمية (M) حيث تقاس بدلالة كتلة الشمس.باستخدام العلاقة النظرية التالية:

$$L = M^{3.5} L_o$$

6 :3 درجة حرارة النجوم Stellar Temperature

تتشابه النجوم في درجة حرارة باطنها، إذ تبلغ ملايين الدرجات المطلقة، بينما تختلف النجوم في درجة حرارة سطوحها، ولذلك تختلف ألوانها، ودرجة سطوعها، فمعظم النجوم الحمراء لها درجة حرارة سطحية حوالي (3000 K) بينما النجوم الصفراء تكون درجة حرارة سطوحها حوالي (6000 K) أما النجوم البيضاء فتتصل إلى حوالي (10000K) بينما تصل حرارة النجوم الزرقاء إلى حوالي (20 000 K).

وتحدد درجة حرارة سطح النجم بالطرق التالية:

1 - بمشاهدة ألوانها.

2 - بقياس المعامل اللوني.

3 - من معرفة الصنف الطيفي وذلك بتحليل الطيف النجمي ومشاهدة خطوط الامتصاص الهيدروجينية وغيرها.

4 - من معرفتنا للنورانية، ونصف قطر النجم.

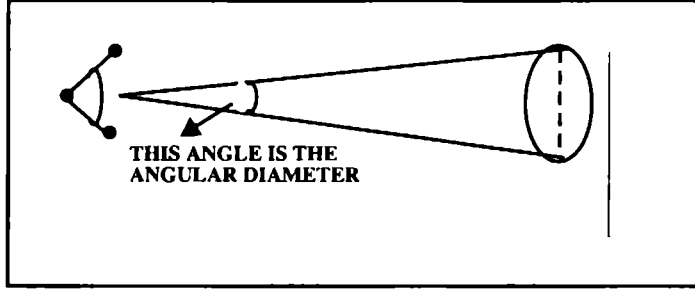
5 - بقياس منحنى الاشعاع للنجم، واستخدام قانون فين

$$\lambda_o T = 289 \times 10^5 A^0K$$

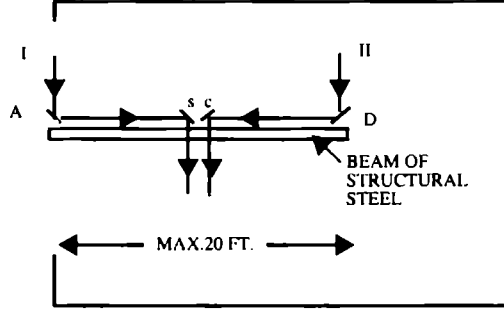
6:4 انصاف أقطار النجوم Stellar Radii

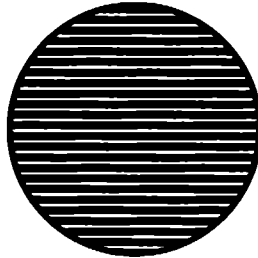
تختلف النجوم في حجومها ومع ذلك فلا يمكن قياس أقطارها مباشرة حيث تظهر في

التلسكوبات (حتى الكبيرة منها) كنقاط ضوئية ليس لها أقطار يمكن قياسها، وتتراوح أنصاف أقطار النجوم ما بين $0.01\ R_0$ إلى $100\ R_0$ ، حيث تدعى النجوم الصغيرة بالنجوم القزمة البيضاء White Dwarf Stars وتدعى النجوم الكبيرة الحجم بالنجوم العملاقة الحمراء Red Giant Stars وتدعى النجوم المتوسطة الحجم بنجوم التتابع الرئيسي ومن ضمنها الشمس Main Sequence Stars ولقد طور العلماء حديثاً طرق جديدة لقياس أقطار النجوم منها:

أ - بواسطة مطياف التداخل لميكلسون MICHELSON INTERFEROMETER الذي يقيس القطر الزاوي للنجم كما في الشكل (1 - 6) ، وبمعرفة بعد النجم عنا يمكن إيجاد قطره الحقيقي من العلاقة التالية: القطر الحقيقي = القطر الزاوي × بعد النجم عنا.

الشكل (1-6) يمثل القطر الزاوي للنجم عند راصد على الارض

ويتكون جهاز مطياف التداخل من مرآتين (A), (D) تتحركان أفقياً معاً إلى الداخل أو الخارج على قضيب معدني طويل بينما المرآتان (B), (C) ثابتتان، كما في الشكل (2 - 6)، وعندما يسقط ضوء النجم على التلسكوب يصل شعاع من جزء من النجم إلى المرآة (A) ويصل شعاع من جزء آخر من النجم إلى المرآة (D) فينعكس الشعاعان إلى المرآتين (B), (C) فيحولان هذا الضوء المنعكس إلى التلسكوب وفي البداية تُرى صورة النجم على هيئة قرص دائري صغير نصفه على شكل أهداب مظلمة ونصفه الآخر على شكل أهداب مضيئة كما في الشكل (3 - 6) ، وبتحريك المرآتان (A,D) تدريجياً، يلاحظ اختفاء الأهداب المظلمة والمضيئة كما تُرى من عينية التلسكوب، وهي صورة النجم. عند هذه اللحظة تقاس المسافة الفاصلة بين المرآتين (A, D) على القضيب ولتكن (S) سم وعندها فإن

القطر الزاوي بالثواني القوسية $= \frac{12}{S}$

الشكل (2 - 6) يوضح مطياف التداخل لميكلسون

وتستخدم هذه الطريقة لقياس الأقطار النجمية للنجوم القريبة اللامعة والكبيرة الحجم، حيث تكون أقصى مسافة بين المرآتين (D,A) حوالي (20) قدماً، بينما تحتاج النجوم البعيدة، ذات القطر الزاوي الصغير إلى أن تكون المسافة بين المرآتين (D,A) مئات الأقدام، ويتراوح قطر النجوم الزاوي بين "0.034 إلى "0.042.

الشكل (3 - 6) يمثل صورة النجم المتكونة بواسطة تلسكوب ومطياف التداخل

ب - بواسطة الخسوف النجمي Lunar Occulation ويحدث أحياناً أن يمر قمر الأرض أمام نجم ما في السماء، فيقاس الزمن الذي يحتاجه قطر قمر الأرض ليكسف النجم البعيد كلياً، وبضرب سرعة القمر في زمن الخسوف الكلي، يمكن إيجاد القطر النجمي الحقيقي وتحدث نفس الظاهرة في حالة النجوم الثنائية الكسوفية عندما يقوم نجم ما بكسف نجم آخر لمدة زمنية محددة، وبمعرفة سرعة النجم الكاسف في مداره حول تمركز الكتلة المشترك يمكن إيجاد قطر النجم المكسوف.

ج - بواسطة مقياس التداخل السريع Speckle Interferometry يقوم الفلكي بالتقاط صور

فوتوغرافية عديدة للنجم، بحيث يدوم زمن التعريض للصورة الواحدة منها حوالي $\frac{1}{100}$ من الثانية، وتستخدم نماذج رياضية خاصة لحساب قطر النجم من هذه الصور السريعة.

د – تعيين حجم النجم من النورانية النجمية وذلك بمعرفة درجة حرارة سطح النجم.

$$L = \sigma T^4 . 4 \pi R^2$$

6 : 5 الكتل النجمية Stellar Masses

تتفاوت النجوم في كتلها أيضاً، وتتراوح بين $0.05M_o$ إلى $60M_o$ وتقاس بدلالة كتلة الشمس، ولا يوجد طريقة مباشرة لإيجاد كتلة النجم في الوقت الحاضر، بل يمكن إيجادها بطرق غير مباشرة، ففي حالة النجوم الثنائية المرئية يستخدم قانون كبلر الثالث على الصيغة التالية:

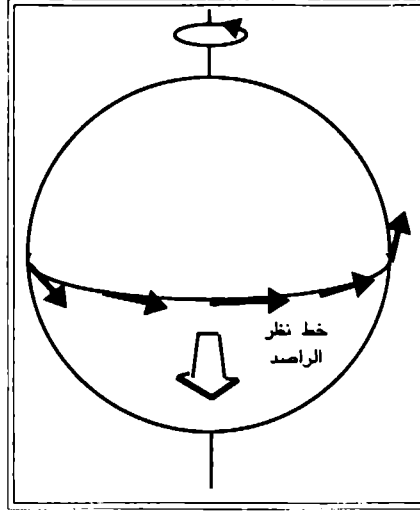
$$(m_1 + m_2) = \frac{a^3}{P^2}$$

حيث تدل m_1 , m_2 على كتلة النجمين الذين يدوران حول مركز الكتلة المشترك بدلالة كتلة الشمس و (p) زمن دورة أحد النجمين حول مركز الكتلة المشترك (بالسنوات الأرضية) ، (a) متوسط المسافة بين النجمين (بالوحدة الفلكية) ولحساب كتلة النجم الواحد على انفراد، يلزم دراسة حركة النجم المطلقة حيث يتحرك النجم الأكبر كتلة في مدار ذي قطع ناقص صغير السعة، بينما يتحرك النجم الأقل كتلة في مدار ذي قطع ناقص كبير السعة، أيضاً ومن معرفتنا للنسبة بين سعتي القطع الناقص نحصل على النسبة بين كتلتي النجمين.

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

وبحل المعادلتين السابقتين يمكن تحديد كتلة كل منهما .

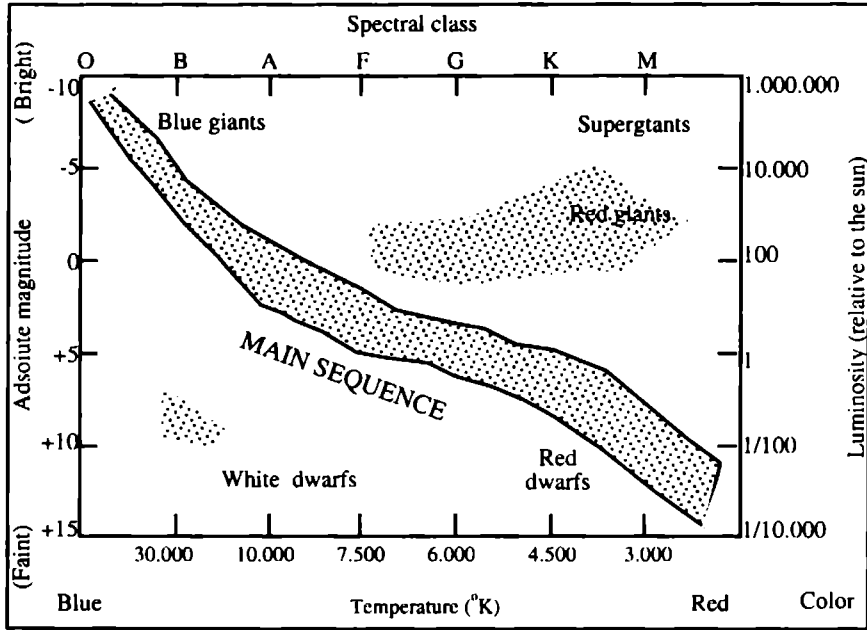
6: 6 الحركة الدورانية النجمية Stellar Rotation

تدور معظم النجوم حول نفسها ببطيء ففي النجوم الباردة تصل سرعة دوران نقطة على سطحها إلى أقل من 10كم/ث، وتستغرق الدورة الكاملة حول نفسها من بضعة أيام إلى بضعة أسابيع، وفي حالة النجوم الساخنة تصل سرعة دوران نقطة ما على سطحها إلى ما يقارب 450 كم/ث، وتستغرق الدورة الكاملة حول نفسها من يوم إلى يومين كما في الشكل (4 - 6).

الشكل (4 - 6) يوضح اثر دوران النجوم على اتساع الخط الطيفي

ويمكن قياس سرعة الدوران النجمي عن طريق قياس الاتساع الجانبي للخطوط الطيفية فلنفرض أننا ننظر إلى نجم ما باتجاه عمودي على محور دورانه، وأثناء دوران النجم يكون نصفه متجهاً نحونا، في حين أن النصف الاخر يكون مبتعداً عنا، ويتبع ذلك أن خطوط الامتصاص الناتجة عن الذرات في النصف المبتعد عنا، تنزاح نحو اللون الأحمر Red Shift وأما خطوط الامتصاص الناتجة من ذرات في النصف الاخر المقترب منا تنزاح نحو اللون الأزرق Blue Shift وذلك نتيجة تأثير دوبلر، وبهذا يزداد سمك أو اتساع الخطوط الطيفية للنجم طردياً مع سرعة دوران النجم، لذلك فإن قياسات اتساع الخطوط الطيفية للنجوم تدلنا على سرعات دورانها حول محاورها، ولقد تبين للعلماء مثل روبرت كرافت عام 1967م أن النجوم المشابهة للشمس تدور حول محاورها بسرعة أبطأ كلما تقدمت في العمر.

7: 6 مخطط هيرتز سبرنغ - رسل للتطور النجمي
Hertz Sprung - Russel Diagram

قام الفلكي الدنمركي هيرتز سبرنغ عام 1908م بدراسة العلاقة بين القدر المطلق للنجم (النورانية) وصنفه الطيفي (درجة حرارته) لعينة احصائية كبيرة من النجوم الساطعة والقريبة

من الشمس بحدود 5 بارسك، كما قام العالم الامريكي هنري رسل عام 1913 م ببحوث مماثلة حيث وضع كل منهما رسماً بيانياً عين فيه موقع كل نجم حسب درجة نورانيته ونوع طيفه فحصلا على الشكل (5- 6).

الشكل (5 - 6) يمثل مخطط هرتز تزسبرنغ - رسل للتطور النجمي

الذي تظهر فيه معظم النجوم على طول حزمة واضحة المعالم تمتد من أعلى اليسار في الشكل إلى أدنى اليمين وتعرف هذه النجوم بنجوم التتابع الرئيسي Main Sequence Stars وتنتمي أكثر من 90% من نجوم مجرتنا إلى التتابع الرئيسي وشمسنا نجم منها، ويظهر عدد قليل من النجوم المضيئة جداً (درجة حرارتها منخفضة، ونورانيتها كبيرة) مما يدل على أن سطحها الخارجي كبير، وتعرف بإسم نجوم العمالقة الحمراء Red Giant Stars وبعض هذه النجوم كبيرة جداً بحيث يمكن تسميتها بنجوم فوق العملاقة Supergiant Stars ويوجد في الطرف السفلي الأيسر من مخطط H - R مجموعة من النجوم (درجة حرارتها عالية، وتورانيتها قليلة) ولذلك فإن هذه النجوم يجب أن تكون أصغر حجماً من نجوم التتابع الرئيسي، فحجمها تقريباً يعادل حجم الأرض وتعرف بنجوم الأقزام البيضاء White Dwarf Stars رغم أنها ليست جميعها بيضاء اللون وتبلغ نسبتها أقل من 10% من بين النجوم القريبة.

ويتضح من هذا المخطط أن النجوم ليست موزعة فيها توزيعاً عشوائياً وأن هناك علاقة وثيقة بين نورانية النجوم ودرجة حرارتها وأن الشمس تعتبر نجماً نموذجياً في التتابع الرئيسي ويتحدد موقع النجم على سلسلة التتابع الرئيسي حسب كتلته ولذلك فإن سلسلة التتابع الرئيسي ما هي إلاّ سلسلة نجمية تتناقص في كتلتها تدريجياً من الثقيل والساطع جداً في النهاية العليا للمنحنى إلى الأقل كتلة وسطوعاً عند النهاية السفلى للمنحنى، وتوجد علاقة أولية، تربط بين كتلة نجوم التتابع الرئيسي ونورانيتها، اكتشفها العلماء أثناء دراستهم للنجوم الثنائية حيث تتناسب النورانية النجمية طردياً مع الكتلة النجمية مرفوعة للأس (3.5) كما في العلاقة التقريبية التالية:

$$L = M^{3.5}$$

والحقيقة إن الأساس النظري المخطط (H-R) قد جاء متأخراً حيث أدرك العلماء أن خصائص الخط الطيفي المتوقعة لنجم ما تعتمد على عوامل عديدة منها: درجة الحرارة السطحية للنجم وكثافة الذرات في غلافه الخارجي والتي تعتمد بدورها على ضغط الغاز، ومتوسط الوزن الجزيئي للغازات الموجودة (نوع التركيب الكيماوي للغازات) ولذلك استنتج العلماء بأن شدة أي خاصية للخط الطيفي مثل سمك الخط (w) يمكن كتابتها على الصورة $w=w\ (L, T, M, U)$ وللنجوم التي لها نفس التركيب الكيماوي فإن المعادلة السابقة تؤول إلى

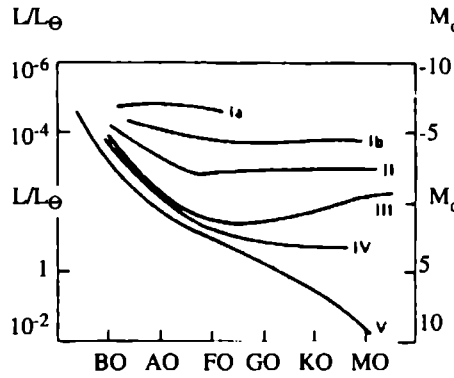
$$=w\ (L, T, M)$$

وإذا اعتبرنا نجوماً ترتبط نورانيتها وكتلتها بعلاقة ما كنجوم التتابع الرئيسي، فإن المعادلة السابقة تؤول إلى $w = w\ (L,T)$

وهذه المعادلة هي التبرير النظري للبحث عن وجود تتابع في درجة الحرارة في بعد واحد والتي تمثل نجوماً شريطة أن يكون لها نفس الكتلة ونصف القطر والتركيب الكيماوي. بينما يمثل مخطط (H-R) في بعدين الحالات التي لا ترتبط فيها النورانية بعلاقة مع الكتل النجمية وتلك التي تكون فيها الفروق في التراكيب الكيميائية مهمة. حيث تبين للعلماء بأن النجوم عند درجة حرارة معينة تختلف بوضوح في نورانيتها ولذلك كان من الضروري أن تمثل العلاقة (L,T) في بعدين حسب مخطط (H-R) البياني.

8 - 6 مخطط (M - K) لأصناف النورانية النجمية

قام العالمان مورغان وكينان (Morgan and Keenan) بإيجاد نظام أولي يعتمد فقط على

الحقائق المشاهدة للأطياف النجمية، ويعمل بشكل جيد لنجوم الجمهرة الأولى القريبة من الشمس، حيث ثبت وجود ستة أصناف رئيسية بالإضافة إلى أصناف فرعية أخرى يرمز لها بالدليل (b) أو (a) وعند رسم مخطط في بعدين (القدر المطلق المرئي مع الصنف الطيفي) تظهر هذه الأصناف كأجزاء خطية كما في الشكل (6 - 6).

الشكل (6 - 6) يمثل اصناف النورانية النجمية

وفيه تظهر الشمس من الصنف النجمي (G2V) اي تتابع رئيسي أصفر، ونصف قطرها أقل من العمالقة (الصنف I إلى الصنف I V)، من نفس الرتبة الطيفية G2 ومن الأمثلة، فم الحوت (A3V) ويرنارد (M5V)، ولقد تأكد للعلماء من أمثال انتونيا موري Antonia Maury في مرصد هارفارد أن نجوماً عملاقة لها نفس المعامل اللوني تمتلك أطيافاً مختلفة، بشكل مميز، حيث وجدت بأن سمك الخط الطيفي لها يكون حاداً أكثر من نجوم التتابع الرئيسي. كما أكدَ هرتز سيرنغ بأن النجوم التي لها خطوط طيفية حادة، أكثر نورانية من نجوم التتابع الرئيسي المناظرة لها في الرتبة الطيفية (أو درجة الحرارة السطحية). فلرتبة طيفية محددة يكون لعوامل النورانية وعجلة الجاذبية والضغط الجوي على سطح النجم، الأثر الأكبر في تحديد صنف النورانية النجمي، حيث تتناقص النورانية على طول التتابع b, ab, a

أما الأصناف الرئيسية فهي:

(I) وتطلق على النجوم الفوق عملاقة ويوجد منها الأصناف الفرعية I_b, I_{ab}, I_a

(II) وتطلق على النجوم العملاقة الساطعة ويوجد منها الأصناف الفرعية II_b, II_{ab}, II_a

(III) وتطلق على النجوم العملاقة المتوسطة السطوع ويوجد منها الأصناف الفرعية III_b, III_{ab}, III_a

(IV) وتطلق على النجوم الأقل سطوعاً من العملاقة ويوجد منها الأصناف الفرعية IV_a, IV_{ab}, IV_b
(V) وتطلق على نجوم التتابع الرئيسي ويوجد منها الأصناف الفرعية V_a, V_{ab}, V_b.
(VI) وتطلق على النجوم الأقل سطوعاً من التتابع الرئيسي .

ويستعمل الفلكيون مخططات H - R للتأكد من صحة نظريات التطور النجمي والتركيب الداخلي للنجوم.

أسئلة الفصل السادس

1 - عدد الطرق التي يمكن بواسطتها تعيين درجة حرارة النجوم.
2 - عن ماذا يعبر مخطط هرتز رسل البياني للنجوم.
3 - قارن بين خواص النجوم الواقعة في الجزء العلوي والجزء السفلي من خط التتابع الرئيسي.
4 - ما مدى التفاوت في كتل النجوم.
5 - ما مدى التفاوت في نورانية النجوم وهل هناك علاقة بين كتلة النجم ونورانيته خاصة لنجوم التتابع الرئيسي.
6 - احسب كتلة نجم تتابع رئيسي اذا علمت أن نورانيته تعادل (1000) ضعف من نورانية الشمس.
7 - ما هو العامل الرئيسي الذي يحدد الخواص النجمية الأساسية؟ ولماذا؟
8 - صف الحركة (الدورانية) للنجوم حول محورها وما تأثير ذلك على الضوء الذي يصلنا منها.
9 - اذكر الطرق التي نتمكن بواسطتها من تعيين احجام النجوم.
10 - نجم درجة حرارته اكبر اربع مرات من درجة حرارة نجم آخر، كما ان نصف قطره اكبر من نصف قطر النجم الآخر بمرتين. قارن بين نورانيتيهما؟

الفصل السابع

النجوم الثنائية والمتغيرة

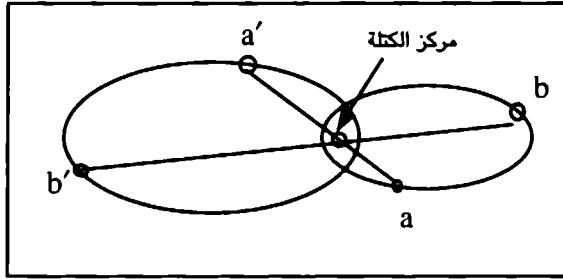
Double and Variable Stars

1: 7 تمهيد

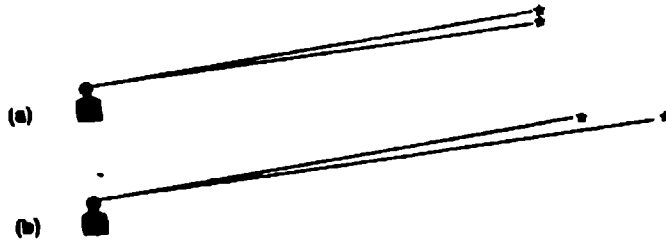
توجد النجوم في الكون إما فرادى أو مزدوجة أو ثلاثية أو تكون أعضاء في أنظمة معقدة تحتوي على الاف النجوم حيث تدعى حينئذ بالعناقيد النجمية. وكثيراً ما تبين للفلكيين ان النجوم التي تظهر لنا منفردة ما هي الا نجوم ثنائية وترتبط هذه النجوم مع بعضها بقوى الجذب النيوتونية المتبادلة، فإذا كانت قوى الجذب كبيرة فان هذه المجموعات النجمية تحافظ على شكل ثابت مثل (الابراج النجمية) وأما إذا كانت ضعيفة الترابط فإنها تتفكك مع الزمن.

2: 7 الأنظمة النجمية المزدوجة (Binary Stars)

1: 2: 7 النجوم الثنائية البصرية الحقيقية (Visual Binary)

وهي نظام يتكون من نجمين يدور كل منهما بانتظام حول مركز الكتلة المشترك ويرتبطان معا بقوة جذب نيوتونية متبادلة، خلال حركتهما في الفضاء معا كما في الشكل (1 - 7).

الشكل (1 - 7) يمثل حركة نجمين من مجموعة ثنائية حول مركز الكتلة المشترك

والنجوم الثنائية التي تكون على بعد كاف عن بعضها بحيث يمكن رؤيتهما منفصلين بالتلسكوب تدعى بالثنائيات البصرية الحقيقية كما في الشكل (2 - 7)، ويوجد حوالي 70,000 ثنائي مرئي معروف حالياً ومن الأمثلة عليها (المئزر والسها الموجودان عند انحناء مقبض الدب الكبير حيث يريان بالعين المجردة كمجموعة ثنائية ولكن عند النظر اليهما خلال تلسكوب

صغير يرى المئزر كنجمين اما السها فنجم ثالث يقع في نفس مجال النظر). وهناك نجوم اخرى كثيرة تظهر منفردة عند رؤيتها بالعين المجردة، ولكن عند النظر إليها خلال تلسكوب متوسط يتضح انها مزدوجة مثل النجم القبطي وعادة يدعى النجم الاكثر سطوعاً (بالنجم الرئيسي) وهو الاكبر كتلة والنجم الاخر الأكثر خفوتاً (بالنجم الثانوي المرافق) وهو الأقل كتلة.

الشكل (2 - 7) يمثل نجوم ثنائية حقيقية

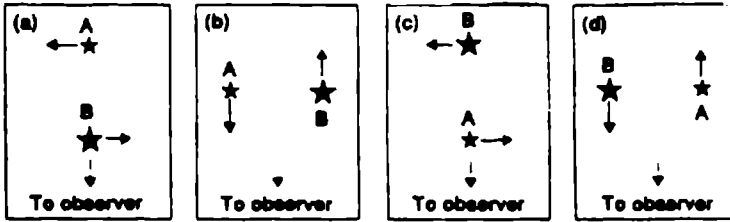
2 : 2 : 7 النجوم الثنائية القياسية الفلكية (Astrometric Binaries)

هناك الكثير من النجوم المرئية، والتي قد يكون لكل منها نجم مرافق غير مرئي بسبب خفوت لمعانه، حيث نستدل على وجوده من خلال دراسة تغير الحركة الذاتية للنجم المرئي كما في الشكل (3 - 7) ومن الأمثلة على ذلك النجم الساطع (الشعرى اليمانية أ) Sirius A حيث اكتشف العالم الالماني بسيل انها تتحرك في خط متعرج غير مستقيم كما ينتظر بسبب وجود مرافق لا نراه حتى قام العالم الامريكي كلارك باكتشاف النجم المرافق، الخافت لمعانه، الشعرى اليمانية (ب) Sirius B بواسطة تلسكوب كاسر قطر شيئيته 50 سم، حيث رأى نقطة معتمة من الضوء بالقرب من النجم الساطع وتبين فيما بعد انه قزم أبيض.

شكل (3 - 7) يوضح تارجح الشعري اليمانية في حركتها على مدى مائة عام

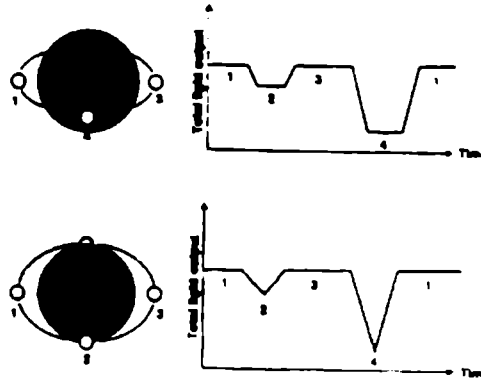
3 : 2 : 7 النجوم الثنائية المطيافية (Spectroscopic)

عندما يكون النجمان قريبان جداً من بعضهما فإنه من الصعب تحليلهما تلسكوبياً الى نجمين منفصلين الا باستخدام التحليل الطيفي للنجم الثنائي (ظاهرة دوبلر) وإذا افترضنا ان النجمين متساويان بالكتلة وانهما يدوران في مدار دائري حول مركز الكتلة المشترك وان الأرض تكون في مستوى مدارهما كما في الشكل (4-7) فعندما يتحرك النجمان عمودياً بالنسبة الى خط الرؤيا من الارض فيكون الطيف الناتج مكون من خطوط امتصاص احادية ثابتة في موضعها، مركبة على طيف مستمر وعندما يتحرك احدهما باتجاه الارض تنزاح خطوط طيفه نحو اللون الأزرق وفي الوقت نفسه يكون النجم الاخر يبتعد عن الارض فتنزاح خطوطه الطيفية نحو اللون الأحمر، وتظهر لناالخطوط في الطيف الكلي مزدوجة وبعدها يتحرك النجمان عمودياً على خط الرؤيا من الارض فتظهر الخطوط الطيفية موحدة من جديد.

وهكذا يدل الازدواج الدوري للخطوط على ان النجم ثنائي مطيافي ويمكن حساب مدة الدورة الكاملة للثنائي حول مركز الكتلة المشترك بواسطة تحديد المدة التي تزدوج فيها الخطوط والمدة التي تتوحد فيها وتدل الدراسات الفلكية على انه من بين كل مائة نجم ساطع يظهر عشرون منها كنجوم ثنائية مطيافية كنجم المئزر A ونجم بيتا ذو الأعنّة بالقرب من العيوق، اما العيوق نفسه (الفاذوالاعينه) فيظهر في المراقب العادية نجماً منفرداً. لكنه يظهر ثنائياً بالمطياف.

شكل (4-7) يوضح النجوم الثنائية المطيافية

4 : 2 : 7 النجوم الثنائية الكسوفية Eclipsing Binaries

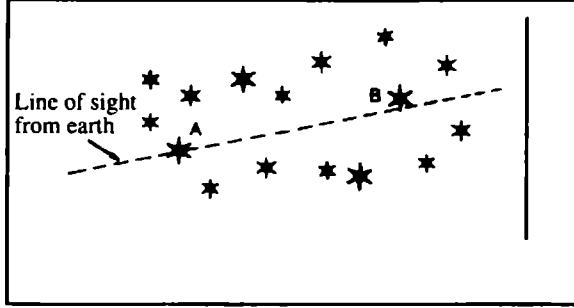
قد يحدث احياناً خلال دوران نجمين حول مركز الكتلة المشترك في نظام ثنائي ان يكون ميلهما كبيراً. بحيث يمر احدهما امام الاخر، فيكسفه كله او جزءه، وعندما يحدث ذلك يتغير سطوح المجموعة الثنائية مع الزمن كما في الشكل (5-7).

حيث يبين الشكل مجموعة ثنائية تتكون من نجمان احدهما صغير الحجم شديد السطوع والاخر كبير الحجم، قليل السطوع، ويدور النجم الصغير حول النجم الكبير ففي الموضع (1) فان الضوء الذي يصلنا يكون نهاية عظمى وتكون المجموعة في اشد سطوع لها. وعندما يمر النجم الصغير امام النجم الكبير كما في الموضع (2) يبدأ الكسوف الجزئي حيث تبدأ كمية الضوء التي تصل الى الأرض بالنقصان تدريجياً الى ان تصبح نهاية صغرى ثانوية وبذلك يتم الكسوف الحلقي. وفي الموضع (3) حيث عاد النجمان الى الظهور، وازدادت كمية الضوء الواصلة للأرض تدريجياً الى ان عادت الى طبيعتها الأولى.

الشكل (5-7) يوضح منحنى الضوء للنجوم الثنائية الكسوفية

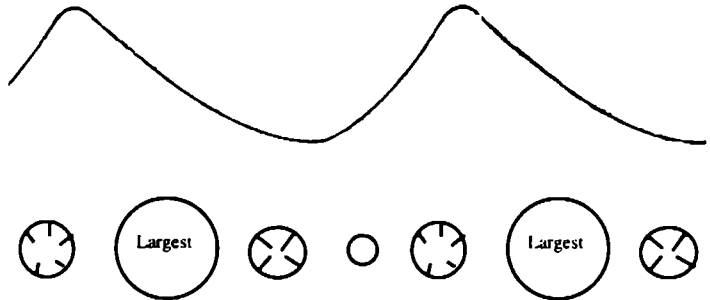
ويستمر النجم الصغير في دورانه حول النجم الكبير الخافت حتى الموقع (4) حيث يختفي النجم الصغير تماماً خلف النجم الكبير الخافت فيحدث الكسوف الكلي وتصبح كمية الضوء الواصلة للأرض اقل ما يمكن (نهاية صغرى رئيسية) وبعدها يعود الوضع كما كان سابقاً. وتتوقف مدة الكسوف على عاملين هما حجم اكبر النجمين وسرعة كل من النجمين في مداره. ويمكن تعيين سرعتي النجمين اذا كان طيفاهما مرئيين وبواسطة هاتين السرعتين يمكننا ايجاد قطر كل من النجمين وذلك بإيجاد حاصل ضرب زمن الكسوف في سرعة احدهما بالنسبة للآخر.

5: 2: 7 النجوم الثنائية الظاهرية الوهمية Optical Binaries

تظهر بعض النجوم احياناً على شكل ثنائيات مرئية متقاربة حيث يصدف ان يكون على

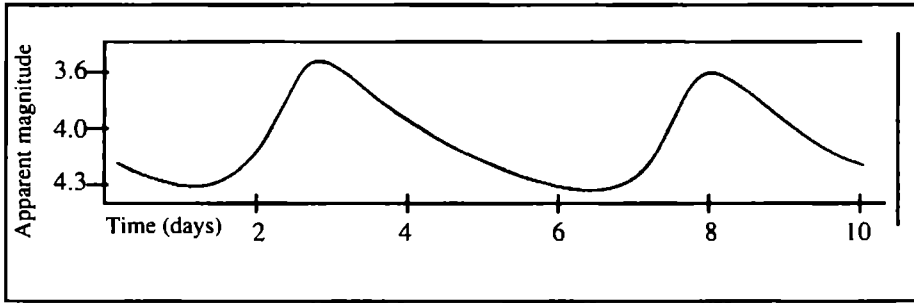
خط بصر واحد، ولكنها في الحقيقة متباعدة يفصل احدها عن الآخر العديد من السنوات الضوئية ولا يجمعها نظام مشترك كالثنائيات المرئية الحقيقية كما في الشكل (3 - 6).

الشكل (6 -7) يوضح النجوم الثنائية الظاهرية الوهمية

3: 7 النجوم المتغيرة الاضاءة (Vriable Stars)

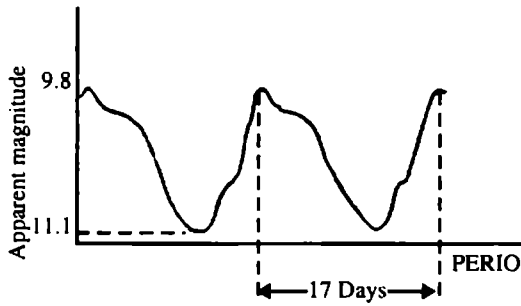
وهي نجوم يتغير سطوعها الظاهري من قيمة عظمى الى قيمة صغرى بشكل دوري منتظم، وربما يكون السبب في ذلك هو النبض الدوري لسطح النجم حيث يزداد حجم النجم وينقص على التوالي مما ينتج عنه تغير في السطوع النجمي بسبب عدم توفر الإتزان الهيدروستاتيكي بين الضغط الناشيء عن التجاذب (نحو الداخل) وضغط الغاز الساخن (نحو الخارج) كما في الشكل(7 - 7)، وقد تحدث انفجارات داخل النجم حيث يطرد جزءاً من كتلته الى الفضاء الخارجي (النوفا والسوبرنوفا). ولقد اكتشفت الباحثة هنريتا لفيت عام 1908م خلال دراستها لبعض الصور الفوتوغرافية التي التقطت لغيمة ماجلان الصغرى (الواقعة في السماء الجنوبية) أن هناك تغيراً دورياً في سطوع بعض النجوم دعيت هذه النجوم بالقيفاويات (Cepheids) وقامت بقياس ازمنة الدورات الضوئية للقيفاويات الموجودة.

شكل (7 - 7) يوضح منحنى السطوع لنجم متغير الإضاءة

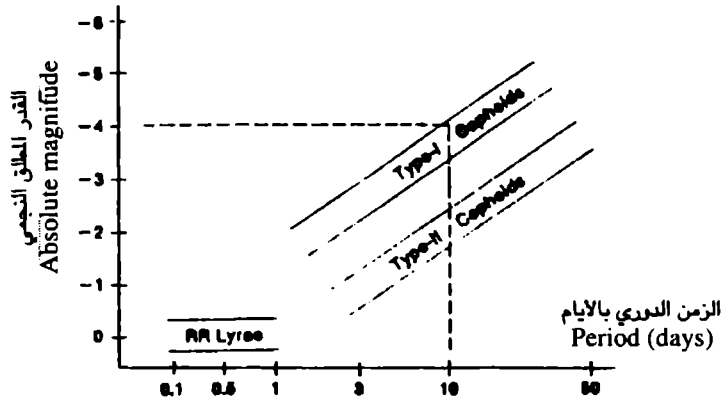
ويوجد منها اكثر من عشرة آلاف نجم تتغير فيها الاضاءة الذاتية والخصائص الطيفية النجمية مع الزمن وتشمل النجوم المتغيرة الاصناف التالية:

1 : 3 : 7 النجوم القيفاوية من النوع الأول Cepheids Type I Stars

من الأمثلة عليها النجم (δ) قيفاوس حيث يزداد سطوعه الظاهري بمعدل سريع لمدة بضع ساعات ثم يأخذ سطوعه بالنقصان التدريجي البطيء والذي قد يستمر لبضعة أيام ويتم ذلك بشكل دوري. ويتغير قدرها الظاهري من 3.5 إلى 4.3 ومعظمها نجوم فوق عملاقة ساطعة من الرتبة الطيفية F,G وتعرف مدة الدورة الضوئية للقيفاويات بأنها الفترة التي تمضي ما بين سطوعين أعظمين متتاليين وتتراوح مدة الدورة الضوئية للقيفاويات من النوع الأول ما بين 1.5 يوم إلى 40 يوماً كما في الشكل (8-7).

شكل (8-7) يوضح منحنى الضوء لنجم (δ) قيفاوس من النوع الأول

2 : 3 : 7 النجوم القيفاوية من النوع الثاني .Cepheids Type II Stars

في هذا النوع من القيفاويات يكون السطوع الظاهري لها اقل منه في حالة النوع الأول بحوالي (1.5) قدر نجمي، ومن خلال دراسة منحنى الضوء للنجم المسمى (-W Virginis) يتضح لنا انه لا الجزء الساطع من المنحنى ولا حتى الجزء الخافت منه على شكل منحنى أملس وتتراوح أزمانها الدورية الضوئية ما بين 10 الى 25 يوماً كما في الشكل (9-7).

الشكل (9-7) يوضح منحنى الضوء لنجم W القيفاوي من النوع الثاني

هذا وتتميز القيفاويات بوجود علاقة بين مدة دورتها الضوئية وقدرها النجمي المطلق حيث اكتشفت الباحثة هنريتا لفيت بأن جميع القيفاويات التي لها نفس الزمن الدوري الضوئي يكون لها نفس القدر النجمي المطلق، وإن القيفاويات التي لها ازمان دورية ضوئية طويلة لها اقدار نجمية مطلقة (عالية القيمة)، وتلك القيفاويات التي ازمانها الدورية الضوئية قصيرة تكون اقدارها النجمية المطلقة (صغيرة القيمة) كما في الشكل (3 - 10).

الشكل (10-7) يوضح علاقة النورانية مع الدورة الضوئية للنجوم المتغيرة

ولقد ساهمت القيفاويات في إيجاد طريقة لقياس أبعاد النجوم والمجرات البعيدة جداً، حيث تستخدم العلاقة التالية لحساب ابعاد النجوم اذا عرف قدرها المطلق والظاهري:

$$\text{Log } r = \frac{1}{5}(m - M) + 1$$

حيث يعيّن القدر النجمي الظاهري (m) للنجوم القيفاوية بأخذ متوسط القيمة العظمى والصغرى للسطوع، ثم يحدد القدر النجمي المطلق (M) بقياس الزمن الدوري الضوئي. ثم بالرجوع الى المنحنى المناسب حسب نوع القيفاوي الذي يوضح علاقة الزمن الدوري بالقدر النجمي المطلق، وبهذا تتحدد ابعاد النجوم القيفاوية اينما تواجدت في المجرات المختلفة.

3 : 3 : 7 نجوم ر.رليري (الشلياقية) (R.R LyRae Variables)

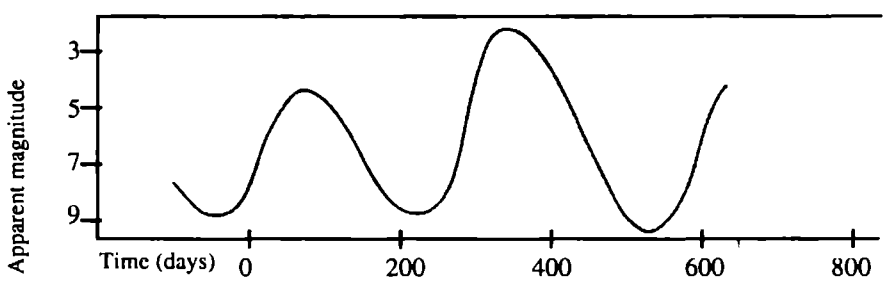
وهي مجموعة من النجوم القيفاوية لها ازمان دورية صغيرة جداً، حيث يبلغ اطول زمن دوري ضوئي لها حوالي 29 ساعة واقصرها حوالي 1.5 ساعة حيث اكتشف اول نجم منها

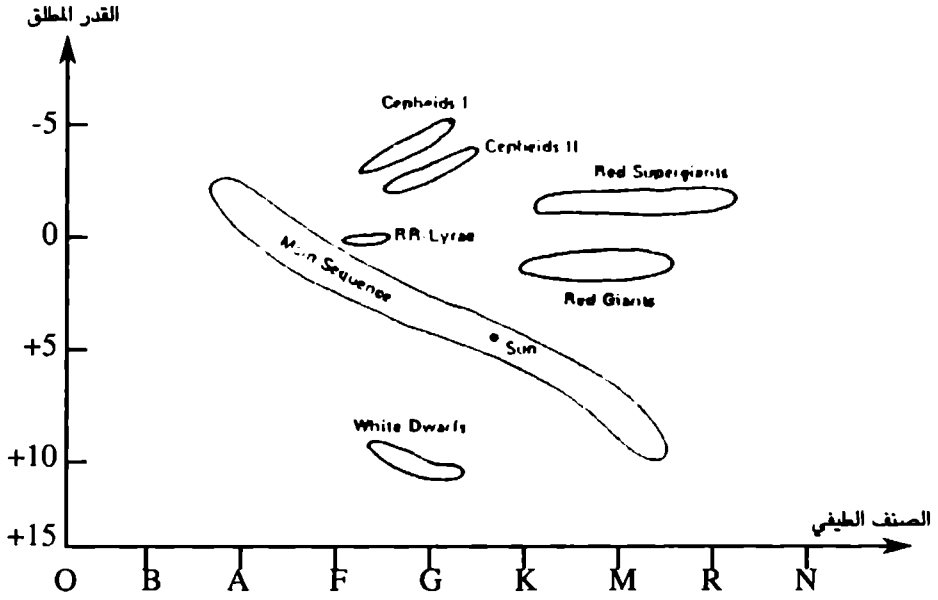
في برج الليرة، ثم في العناقيد الكروية النجمية، ويعرف منها حالياً حوالي ثلاثة آلاف نجم وتزيد نورانيتها بحوالي خمسين ضعفا عن الشمس، واما اصنافها الطيفية فتتبع الانواع A,F العملاقة.

ولقد وجد العلماء أن جميعها تمتلك قدراً نجمياً مطلقاً (M= + 0.6)، ولذلك يستطيع الفلكي تحديد بعدها باستخدام العلاقة السابقة بعد قياس كل من .M,m

وبهذه نكون قد حددنا بعد تلك العناقيد النجمية وبقية المجرات على فرض أنها تقع على نفس البعد منا مثل القيفاويات.

7 : 3 : 4 نجوم الميرا الأعجوبة Mira Variable Stars

معظم هذه النجوم المتغيرة الإضاءة من النجوم العمالقة الحمراء، من النوع M ذات حجم هائل، وسطوع فائق، استنفذت وقودها الهيدروجيني. واصبحت غير مستقرة ولها ازمان دورية ضوئية طويلة اكثر من 100 يوم. ففي نجم الميرا يكون قدره الظاهري عند السطوع الأعظم (5.1) ويكون قدره الظاهري عند السطوع الأدنى (9+)، ومتوسط زمن دورته الضوئية حوالي 330 يوماً كما في الشكل (7-11).

شكل (7-11) **يوضح منحنى السطوع لنجوم الميرا**

ولا بد من أن نذكر أنه يمكننا الاستدلال على النجوم المتغيرة إما عن طريق مراقبة سطوعها وتغيره مع الزمن أو عن طريق دراسة أزاحات الخطوط الطيفية للنجم، بتأثير التمدد والتقلص في سطوعها (ظاهرة دوبلر)، حيث تتغير السرعة النسبية بين الراصد وسطح النجم ويبين الشكل (7-12) موقع هذه النجوم المتغيرة على مخطط (H-R) البياني.

شكل (7-12) يوضح موقع النجوم المتغيرة على مخطط (H - R) البياني

أسئلة الفصل السابع

1 - كيف تميز النجوم الثنائية الطيافية عن غيرها من الثنائيات؟

2 - كيف تميز النجوم الثنائية الكسوفية عن غيرها من الثنائيات؟

3 - كيف يمكن التأكد من النجوم الثنائية القياسية الفلكية؟

4 - كيف يمكن الاستدلال على نجوم الشلياق (الليري) المتغيرة؟

5 - نجمان يدور كل منهما حول مركز الكتلة المشترك وبزمن دوري لاحدهما مقداره سنتان، فإذا كان البعد بينهما (2) وحدة فلكية، اعتبر كتلتيهما متساويتان فجد كتلة أي منهما؟

6 - ما الذي يتغير بشكل اساسي في النجوم متغيرة الاضاءة؟

7 - كيف يتغير القدر الظاهري للنجوم القيفاوية مع أزمانها الدورية؟

8 - إذا كانت السرعة المدارية لنجم ما (10) كم/ث فكسف نجما آخر لمدة (27.78) دقيقة، جد قطر النجم الآخر؟

9 - افترض انك شاهدت نجماً جديداً فوجدت قدره الظاهري، فماذا يجب عليك ان تعمل لتحدد قدره المطلق؟

10 - هل جميع الثنائيات النجمية حقيقية؟

11 - ما هي أهمية النجوم القيفاوية للفلكيين؟

الفصل الثامن

العناقيد النجمية والسدم

Star Clusters and Nebuale

1: 8 تمهيد

نعيش في جزء من المجرة تكاد تكون فيه كثافة توزيع النجوم في الفضاء كثافة متوسطة فأقرب النجوم الينا يبعد عنا مسافة اربع سنوات ضوئية (الفا قنطوري) وعلى الرغم ان العديد من نجوم مجرتنا تتحرك منفردة وبحرية تامة بين جيرانها إلا انه في بعض انحاء المجرة يوجد الكثير من النجوم المترابطة مع غيرها بصورة مجموعة نجمية تدعى بالعنقود. وعلى الرغم من كون النجوم كبيرة الحجم نسبياً، فان الفضاء الممتد بين النجوم ما يزال شاسعاً جداً وينتشر خلاله مادة غازية وغبار كوني ذو كثافة قليلة لا تتعدى (ذرة / سم^3) يعمل على امتصاص وتشتت الضوء النجمي قبل وصوله الينا على الارض. ويحدث ان يتركز هذا الوسط الغازي في مناطق عديدة من مجرة درب التبانة على شكل سحب (سدم غازية) ذات كثافة كبيرة نسبياً تصل الى حوالي (1000 ذرة / سم^3) حيث تصبح بيئة مناسبة لولادة النجوم.

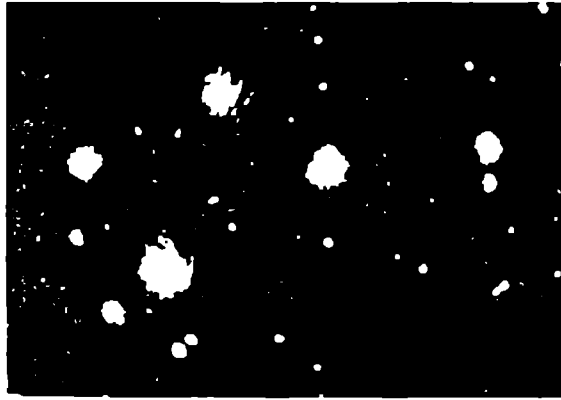
2 - 8 العناقيد النجمية (Star Clusters)

يُعرِّف الفلكيون العنقود النجمي بأنه مجموعة من النجوم التي تكونت من تكاثف جزيئات مادية ضمن سحابة ضخمة من الغبار والغاز خلال فترة زمنية قد تصل لبضع ملايين من السنوات ويعتبر الفلكيون هذه الفترة الزمنية قصيرة بالمقارنة مع متوسط زمن حياة النجم وبالتالي مع زمن حياة الكون. وهكذا يمكن اعتبار ان جميع نجوم العنقود الواحد قد ولدت في لحظة واحدة اي أنها تكون متماثلة بالعمر. كما ان جميع نجوم العنقود الواحد تقع على نفس البعد منا على الأرض وتكون متماثلة بالتركيب الكيماوي عند بداية التكوين. ولكنها قد تختلف في خصائص اخرى مثل الكتلة والسطوع الظاهري والنورانية، ودرجة حرارتها.

وتتوزع هذه العناقيد النجمية في مجرتنا بصورة غير منتظمة وهي أنواع متعددة اهمها:

1: 2: 8 العناقيد النجمية المفتوحة Open Clusters

تنتشر هذه العناقيد في مستوى المجرة وبالأخص في الأذرع الحلزونية حيث تحتوي على عدد قليل من النجوم يتراوح بين سبعة الى عدة آلاف ومعظمها نجوم لامعة ذات اعمار قصيرة

نسبياً تتراوح بين مليون الى تسع مائة مليون عام (حديثة التكوين) ويبلغ معدل قطره 20 سنة ضوئية وليس لهذه العناقيد شكل معين ويكون غالباً مفككاً نتيجة ضعف قوى الجاذبية المتبادلة بين النجوم نظراً لأن بعضها يكون قريباً منا فان نرى نجومها متباعدة نوعاً ما، ولهذا فانها تسمي العناقيد المفتوحة ومما يزيد في ترابطها كمجموعة انها تسير داخل المجرة وفي اتجاه واحد. ولقد عرف العلماء حتى الآن اكثر من 350 عنقوداً نجمياً من هذا النوع. ونجد امثلة كثيرة من هذه العناقيد داخل مجرتنا مثل عنقود الثريا (الاخوات السبع) (Pleiades) والمبين في الشكل (1-8)، ويقع على مسافة 410 سنة ضوئية في الشمال الغربي من كوكبه الثور. وهناك سبعة من نجومه على الأقل ترى بالعين المجردة ويبلغ عدد النجوم فيه حوالي 500 نجم ومعظم نجومه الرئيسية ساخنة وبيضاء. وتنغمس نجومه في وسط سديم كبير من سدم الانعكاس وأفضل وقت لرؤيته نهاية فصل الخريف وأوائل الشتاء. والمثال الاخر عنقود القلاص (Hyades) في كوكبه الثور ايضاً. ويبعد عنا 130 سنة ضوئية ويبدو نجم (الدبران) في وسطه وهو في الحقيقة لا يمت لها بصلة وانما يقع على خط البصر نفسه.

الشكل (1 -8) يوضح عنقود الثريا (المفتوح)

وهناك امثلة اخرى مثل عنقود النثرة Praesepe في اتجاه برج السرطان على بعد 500 سنة ضوئية عنا ويحتوي على حوالي مئة نجم مضيء تماماً. وكذلك العنقود (M67) الموجود في برج السرطان وبعده حوالي 2500 سنة ضوئية عنا ولهذا العنقود 80 نجماً مضيئاً تماماً ويرى بسهولة بالمنظار العادي ويقدّر عمره بحوالي 500 مليون عام.

2 : 2 : 8 العناقيد النجمية الكروية المغلقة (Globular Clusters)

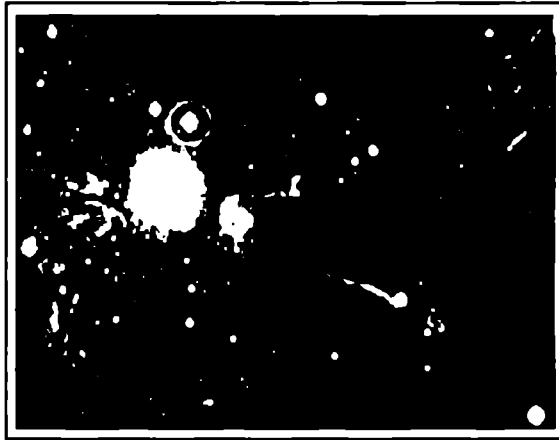
توجد هذه العناقيد النجمية حول نواة المجرة (على حدودها الخارجية) بحيث تحجبها عن الأعين، اي فوق مستوى المجره او اسفله على شكل كروي تعرف باسم الهالة المجرية وعلى بعد (10) آلاف سنة ضوئية من النواة.

ويصل معدل قطرها حوالي 100 سنة ضوئية، وتحتوي على نجوم اكثر عدداً وتكاثفاً وتماسكاً بحيث يبدو المركز مضيئاً اكثر من الأطراف ويتراوح عددها ما بين عشرة آلاف الى عشرة ملايين نجم في كل عنقود. ويعتقد الفلكيون ان نجوم العنقود الكروي قد تشكلت كلها في نفس الوقت وتدور نجومه حول مركزه المشترك. ولقد عرف العلماء حتى الآن حوالي 121 عنقوداً كرويا منها 30 عنقوداً تقع في جزء صغير من السماء في كوكبة الرامي والباقي مبعثرة في كل السماء.

ومعظم نجوم العناقيد الكروية قديمة التكوين يصل عمرها الى حوالي 13 بليون عام وهي من نوع العملاقة الحمراء ونجوم ر.ر القيثارة المتغيرة لاضاءة حيث استخدمت لقياس ابعاد هذه العناقيد الكروية. ولا توجد عناقيد كروية مجاورة للشمس واكثرها سطوعاً هي عنقود اوميقا قنطورس في كوكبة قنطورس الواقع في السماء الجنوبية، حيث يرى بالعين المجردة كبقعة خافتة من الضوء في السماء رغم بعده الشاسع عن الشمس والمقدر بحوالي 22000 سنة ضوئية. وهناك عنقود كروي آخر في كوكبه الجاثي يدعى (M13) ويبعد عنا حوالي 34000 سنة ضوئية في السماء الشمالية أما قطره فحوالي 100 سنة ضوئية، ورؤيته ممكنة بالعين المجردة لكنها تصبح أشد وضوحاً بالمنظار العادي. وتظهر النجوم متراصة فيه بحيث ان المسافة الفاصلة بين كل نجم والآخر حوالي سنة ضوئية واحدة تقريباً كما في الشكل (4 - 8).

الشكل (4 - 8) يوضح عنقود كروي في كوكبة هرقل

3: 2: 8 الاتحادات النجمية الشابّة (Young Associations of Stars)

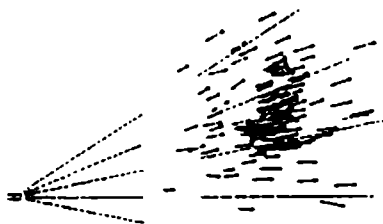
لقد عرف العلماء منذ مدة طويلة ان نجوم النوع B,O لا تتوزع بشكل عشوائي في السماء ولكنها موزعة على شكل اتحادات نجمية. حيث يحتوي الاتحاد الواحد عدداً يتراوح بين خمسة الى خمسين نجماً محصورة في حيّز من الفضاء يتراوح قطره بين 30 الى 200 بارسك (فرسخ نجمي)، ولربما تكونت نجوم الاتحاد في نفس الوقت والتي يرتبط وجودها بالسدم والغبار مثل سديم الجبّار ويوجد نوعان من الاتحادات: اتحادات النوع (O) وتحتوي على نجوم لامعة من النوعين B,O. واتحادات النوع (T) وتحتوي على نجوم (T) توري وهي نجوم حديثة التكوّن وما زالت ترتبط بغاز ما بين النجوم الذي تكونت فيه وتتميز بوجود تغيرات في سطوعها وظهور رياح نجمية، حيث تقذف جزءاً من كتلتها بعيداً عنها كما في الشكل (3-8)، ولا ترتبط هذه النجوم مع بعضها بقوى الجاذبية كما في العناقيد الأخرى. وعلى الرغم ان المسافات التي تفصل بين نجومها شاسعة، لكنها تتحرك جميعها باتجاه واحد وبسرعة واحدة، ويعرف منها الآن مائة عنقود ويتمركز احد هذه العناقيد حول سديم الجوزاء.

الشكل (3-8) يمثل نجوم التوري

8:3 أهداف دراسة مخططات H - R للعناقيد النجمية المختلفة

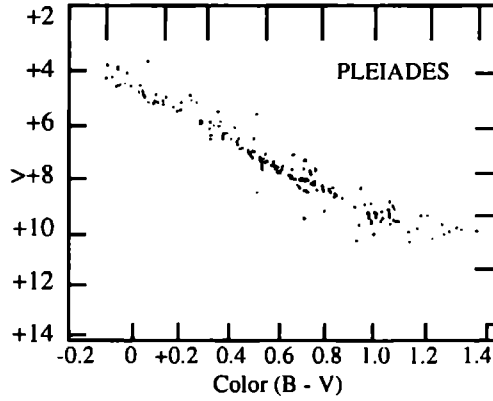
أ) التاكد من انتماء النجم إلى عنقود معين:

يهتم الفلكيون عند دراسة العناقيد النجمية بالتأكد من الأنتماء الحقيقي لجميع نجوم العنقود الواحد وذلك بدراسة الحركات الذاتية لها حيث يجب أن يكون للعنقود النجمي حركة

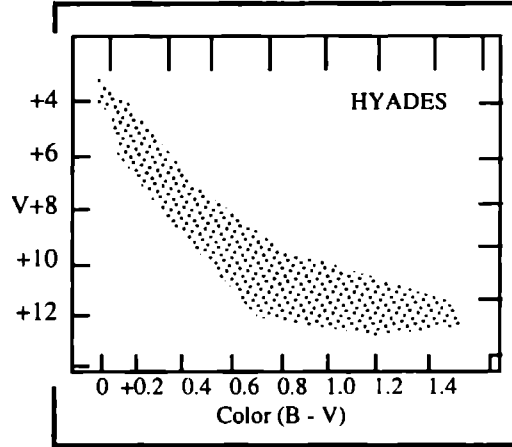
ذاتية مشتركة واضحة خاصة العناقيد النجمية القريبة من الأرض كما في عنقود القلاص شكل (4 - 8) حيث تبدو جميع النجوم وكأنها تتقارب من نقطة مشتركة تسمى نقطة التقارب مما يدل على أن العنقود يبتعد عن الشمس. أما إذا اختلفت الحركة الذاتية لنجم معين من العنقود فهناك احتمالان: إما أن يكون هذا النجم واقعاً خلف العنقود (أي ابعد عنا من العنقود) أو يكون بين العنقود والأرض (أي اقرب إلينا من العنقود)، ومع أن كل نجم في العنقود يتحرك بالنسبة له إلاً أن سرعته هذه تكون صغيرة لوقورنت بالسرعة التي يتحرك بها العنقود في الفضاء، وكلما ابتعد العنقود عنا كلما اخذ حجمه الظاهري بالنقصان وكلما تقاربت مسارات نجومه المنفردة، أما بالنسبة للعناقيد البعيدة جداً عنا فلا يمكننا قياس الحركات الذاتية للنجوم لصغرها. ومع هذا يمكن تعيين افراد العنقود النجمي من قياس سرعتها القطرية (الشعاعية). حيث يكون هناك متوسط سرعة عامة بإتجاه القطر للعنقود النجمي، فلعنقود القلاص تبلغ متوسط السرعة القطرية حوالي (21) ميل/ ثانية. بينما السرعة القطرية لنجم الدبران تبلغ (30) ميل / ثانية مما يدل أن هذا النجم لا ينتمي إلى العنقود المذكور.

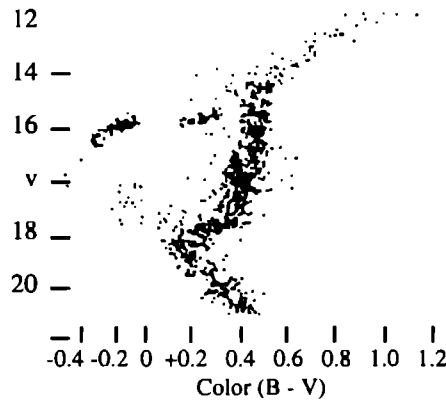
وهناك معايير اخرى لتمييز النجوم التي يكون انتماؤها للعنقود موضع شك منها استخدام طريقة اختلاف المنظر الاسبكتروسكوبي (أي اعتماداً على قياس سمك خط الإمتصاص الناتج عن عنصر الكالسيوم لنجم ما ومقارنته مع نجوم عيارية للحصول على أقدارها المطلقة وبعدها وزاوية تزيّحها.

الشكل (4 - 8) يوضح الحركة الذاتية المشتركة لعنقود القلاص

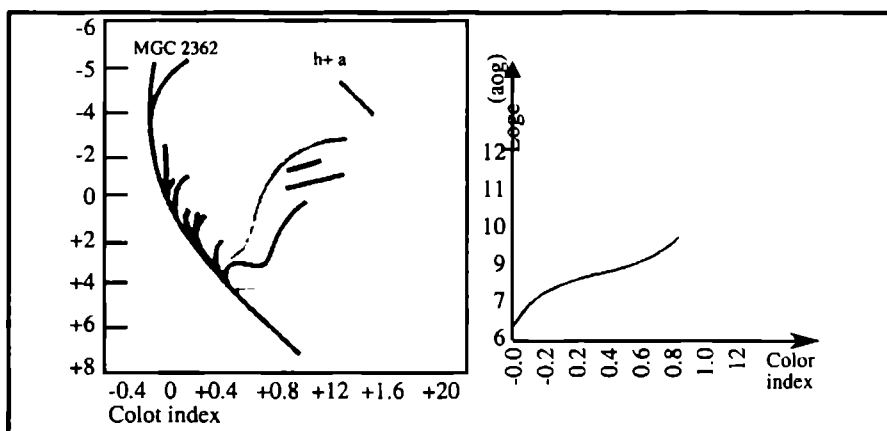
ب) لتمييز عنقود مجري حديث عن آخر قديم:

اعتاد الفلكيون رسم خط بياني للعلاقة بين اللون والنورانية لعنقود نجمي يدعى بمنحنى اللون والنورانيـة وهو يمثل نفس الشيء الذي يمثله منحنى H - R الذي يربط مـا بين النوع الطيفي والنورانية حيث يمكن التحقق من ذاتية أفراد العناقيد البعيدة ويزودهم بمعلومات تتعلق بنشوء النجوم داخل الكثير من العناقيد النجمية ويبين الشكل (5-8) مجموعة من منحنيات اللون والنورانية لعدد من العناقيد المفتوحة.

الشكل (5-8) يوضح منحنيات اللون والنورانية لعنقود الثريا

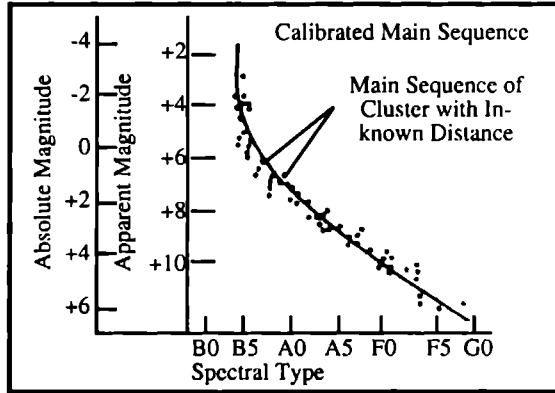
ويتبين من الشكل أن كل العناقيد تحتوي على نجوم في مرحلة التتابع الرئيسي ويمثلها الفرع الرئيسي من المنحنى، وفي كل عنقود نجمي هناك فرع خارج من التتابع الرئيسي نحو اليمين (مرحلة النجوم العملاقة).

وتعتبر نقطة التفرع من مرحلة التتابع الرئيسي إلى مرحلة العمالقة مهمة جداً (Main Sequence turns off point) لتحديد أعمار العناقيد النجمية فكلما كانت نقطة التفرع منخفضة كان النجم أقدم عمراً. فمثلاً لنفرض أن مخطط H-R لعنقود ما (كالثريا) تظهر فيه نجوم زرقاء لامعة تماماً على الفرع الرئيسي للمخطط، فمعنى ذلك أن عمر ذلك العنقود حوالي 60 مليون عام وإذا لم تظهر فيه نجوم زرقاء ساخنة على الفرع الرئيسي للمخطط وظهرت فيه نجوماً أشد ضياءاً ولمعاناً كالعمالقة الزرقاء فمعنى ذلك أن عمر العنقود النجمي اكبر من 300 مليون عام، كما في عنقود (النثرة) في الشكل (6-8).

الشكل (8-6) يوضح منحنى اللون والنورانية لعنقود القلاص

أما مخططات H - R للعناقيد الكروية فتحتوي على القليل من نجوم التتابع الرئيسي وقد لا تحتوي على اي منها حيث مضى عليها وقت طويل منذ نشوئها ولذلك تحولت الى اقزام بيضاء خافتة لا ترى في العناقيد الكروية البعيدة جداً عنا وغالباً ما تحتوي على الكثير من النجوم العملاقة الحمراء والنجوم الشلياقية كما في الشكل (8-7)، وقد يتقدم العمر بهذه العناقيد حتى تحتوي على سديم كوكبي والذي قد يصدر عن النجوم الاكبر كتلة في العنقود حيث انبعثت منها غازات عند تحولها الى اقزام بيضاء او نتيجة انفجارات السوبرنوفا.

الشكل (8-7) يمثل منحنى اللون والنورانية لعنقود كروي

ولعمل قياسات دقيقة لعمر عنقود نجمي ما يحصل الفلكيون على نتائج لمنظومة عيارية من عناقيد نجمية متعددة معروفة اعمارها والمعامل اللوني المقابل لنقطة التحول من خط التتابع الرئيسي لهذه العناقيد وترسم على منحنى خاص يمثل المحور الافقي فيه (المعامل اللوني المقابل لنقطة تحول نجوم التتابع الرئيسي في العنقود الى نجوم عملاقة) ويمثل المحور الرأسي فيه (لوغاريتم العمر الزمني) فنحصل على خط مستقيم عياري نستطيع ان نحدد عمر اي عنقود نجمي مجهود اذا علمنا المعامل اللوني لنقطة تحول الفرع الرئيسي الى فرع العمالقة، كما في الشكل (8 - 8)

الشكل (8 - 8) يوضح طريقة قياس اعمار العناقيد النجمية

جـ) قياس بعد العناقيد النجمية

لايجاد بعد عنقود نجمي يقوم الفلكيون بقياس الاقدار النجمية الظاهرية المرئية (m_v) ومراتبها الطيفية او معاملها اللوني (m_b - m_v) لنجوم ذلك العنقود، ثم يرسم منحنى اللون والاضاءة لكل نجوم العنقود بحيث يمثل المحور الافقي (المعامل اللوني) والمحور الرأسي (القدر النجمي الظاهري المرئي). وطبعاً سنلاحظ ان منحنى اللون والإضاءة للعنقود يحتوي على نجوم تتابع رئيسية ونجوم عملاقة اخرى كما في الشكل (9-8).

الشكل (8-9) يوضح طريقة قياس بعد العناقيد النجمية

ثم يختار الفلكيون منظومة عيارية من نجوم التتابع الرئيسي في المجرة ذات العمر الصفري والمعلومة بدقة كلٌ من: أقدارها النجمية المطلقة المرئية (Mv) والمعامل اللوني (mb - mv) لكل منها ويرسم منحنى اخر ولكن بنفس مقياس الرسم لهذه المجموعة من النجوم العيارية بحيث يكون المحور الافقي يمثل (المعامل اللوني) والمحور الرأسي يمثل (القدر النجمي المطلق المرئي) ونصل بين النقاط لنحصل على منحنى املس لاحظ ان المعامل اللوني للنجم مقدار ثابت لا يعتمد على القدر النجمي الظاهري او المطلق بل يعتمد على درجة حرارة النجم، وبعد ذلك نطابق المنحنيان مع بعضهما البعض وخاصة نجوم التتابع الرئيسي الموجودة بالعنقود مع نجوم التتابع الرئيسي للمنظومة العيارية.

ويعين من المخطط الفرق بين الاقدار الظاهرية والاقدار المطلقة لكل منها، والذي يدعى بمعامل البعد ($m_v - M_v = \Delta$) وهو ذو قيمة ثابتة وتستخدم المعادلة $r = 10^{1+0.2(m_v - M_v)}$ لإيجاد بعد العنقود النجمي.

4 : 8 مقدمة عن السدم الغازية

لقد كشفت طرق الرصد المتاحة أمام الفلكيين عن وجود مادة غازية وغبارية تملأ فضاء ما بين النجوم حيث تظهر في عدة مناطق من المجره على شكل غيوم لامعة تدعى بالسدم المجرية (Galactic Nebula) كما ان هناك سدائم غازية وغبارية اخرى توجد في فضاء ما بين المجرات تدعى بالسدائم اللامجرية (Non Galactic Nebula) وتتميز المادة السديمية بشكل

عام الى الأقسام التالية:

أ) السدائم المضيئة ومنها: سدم الانبعاث وسدم الانعكاس

ب) السدائم المعتمة.

جـ) الغاز والغبار الموجود بين السدائم المختلفة على شكل مادة مخلخلة وسنتحدث عنه لاحقاً.

1 : 4 : 8 سدم الانبعاث (Emission Nebulae)

وهي كتلة ضخمة من الغاز والغبار الكوني وتحتوي بداخلها على نجوم ساخنة جداً وذات نورانية كبيرة تتراوح مرتبتها الطيفية ما بين النوع O والنوع Bo أو B1 .

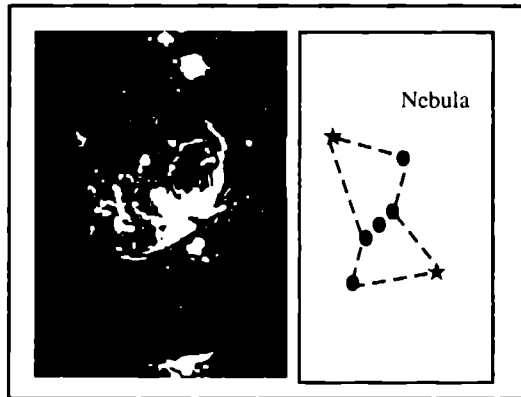
وتتميز هذه السدم بكثافة منخفضة جداً تقدر بحوالي (10^3 ذرة / سم^3) وضغط منخفض. ويحتوي طيف هذه السدم اللامعة على خطوط انبعاثية مضيئة لغازات الهيدروجين والهليوم والاكسجين الساخنة والمتأينة، ويبدو ان التركيب الكيماوي لهذا الغاز السديمي مشابه لتركيب الطبقات الخارجية للشمس. ومن الأمثلة على ذلك سديم الجبار (Orion Nebula) والذي يبعد عنا حوالي (1500) سنة ضوئية ويبلغ قطره حوالي (20) سنة ضوئية اما كتلته فتقدر بحوالي (100) ضعف من كتلة الشمس. وبالنسبة للخطوط الانبعاثية المضيئة فبعضها خطوط انبعاث عادية والبعض الآخر تدعى بالخطوط المحظورة (Forbidden Lines) اي التي لا نتوقع مشاهدتها لغاز ما في ظروف عادية على الأرض. ولكنه يحدث في مثل هذا النوع من السدم.

ويظهر الهيدروجين متأيناً بواسطة الاشعاعات الفوق بنفسجية الصادرة عن النجوم الساخنة وتدعى مناطق هذه الغازات بمناطق (HII) . حيث يرمز للهيدروجين المتعادل بالرمز (HI) واذا فقد الكتروناً واحداً يرمز له بالرمز (HII) . وكذلك ذرة الاكسجين المتعادلة يرمز لها بالرمز (OI) ويرمز لذرة الاكسجين التي فقدت الكتروناً واحداً، (احادي التأين) بالرمز (OII) ويرمز لذرة الاكسجين التي فقدت الكترونان (ثنائي التأين) بالرمز (OIII) وهكذا.

وتنتج الخطوط الطيفية الانبعاثية عندما ينطلق فوتون فوق بنفسجي طاقته كافية لتأيين ذرة هيدروجين في الفضاء المحيط حوله الى الكترون حر وايون هيدروجين (HII) وخلال لحظات قصيرة تُقتنص هذه الالكترونات الحرة من قبل أيون الهيدروجين (البروتون) فيندمج معه مكوناً ذرة هيدروجين متعادلة بحيث من الجائز ان يكون الالكترون في احد مستويات الطاقة العليا

للذرة الجديدة، وخلال فترة قصيرة لا تتعدى 10^{-8} من الثانية يتحرك الالكترون في مستويات طاقة مختلفة متدنية مؤدياً الى انبعاث فوتونات في منطقة بالمر الحمراء ولهذا تظهر مناطق (HII) عادة حمراء اللون بالاضافة لوجود الألوان الصفراء والخضراء الناتجة من خطوط الانبعاث لعناصر اخرى مثل الاكسجين او النيتروجين.

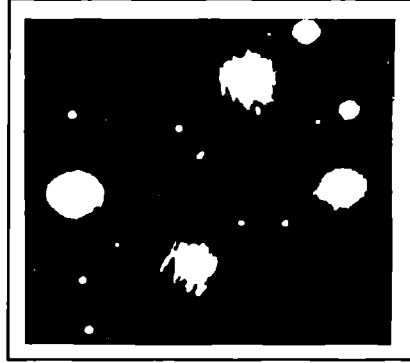
اما بالنسبة للخطوط المحظورة في السدائم الانبعاثية فتنتج بسبب ان كثافة الغاز قليلة والضغط منخفض جداً، وبذلك تقل عدد التصادمات بين الالكترونات والايونات المختلفة (أو الذرات) حيث تنطلق الذرة في مسيرتها اياماً قبل ان تصطدم بجسم ما، فتبقى الكتروناتها في حالة شبه استقرار لمدة طويلة قبل ان تثار الى مستوى عالي من الطاقة نتيجة تصادم مع الكترون حر، وبعدها تنتقل تدريجياً الى مستويات متدنية للطاقة مكونة الخطوط المحظورة الانبعاثية.

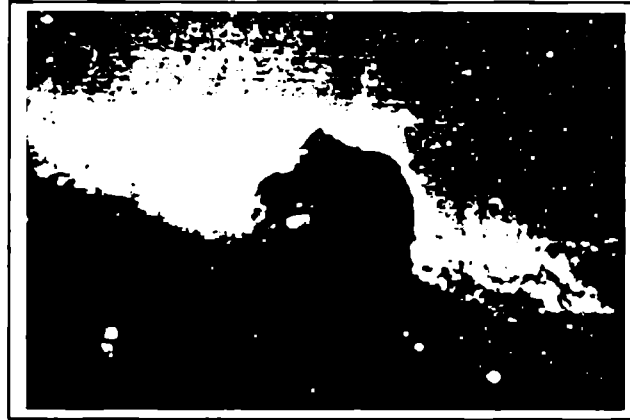
ويجدر بنا ان نوضح بأن هذه السدم الانبعاثية ما هي الا مادة متبقية بعد ولادة النجوم الساخنة من الأنواع السابقة الذكر بداخلها حيث ان اعمارها قصيرة لا تتعدى بضعة ملايين من السنوات ولذلك فلم تبتعد كثيراً عن مكان تكونها الأصلي كما في الشكل (10-8) . وهناك نوع اخر من سدم الانبعاث عدا مناطق (HII) وتدعى بالسدم الكوكبية Planctary Nebulae وهي ليست سدماً بمعنى الكلمة ولا علاقة لها بالكواكب ولقد سماها وليم هرشل بهذا الاسم لأنها تشبه في مظهرها القرص الكوكبي وهي حلقات من الغاز مستديرة الشكل تحيط بنجم في المركز والحلقات هي نتيجة انفجارات في النجم الموجود في المركز وتكون غازات السديم ساخنة ومتوهجة بسبب موجة الرجة (Shock Wave) التي تنتج مع حدوث السوبرنوفا.

الشكل (10-8) يوضح سديم انبعاثي (الجبّار)

وتُبيِّن اطياف هذا السديم الكوكبي خطوط انبعاثية، وتنطلق هذه الحلقات الغازية بعيداً عن النجم بسرعة 20 كم/ث حتى يخفت ضوئها وتختلط بوسط ما بين النجوم خلال الاف السنوات. اما النجوم في مراكز هذه الحلقات فهي نجوم قد وصلت اخر مراحل الاحتراق النووي وهي في طريقها الى ان تصبح اقزاماً بيضاء وقد تكون نجوماً قد مرت بمراحل انفجارات نجمية مثل النوفا والسوبرنوفا واصبحت الآن نجوم نيوترونية كما في الشكل (11-8).

الشكل (11-8) يوضح سديم كوكبي

2: 4: 8 سدم الانعكاس (Reflection Nebula)

وهي كتل هائلة من الغاز والغبار الكوني المحيطة بنجوم اقل حرارة من النوع الطيفي B1 (ولربما تكون من النوع B3, B2) ويتميز طيف هذه السدم بعدم ظهور خطوط انبعاثية في ضوئها وبدلاً من ذلك نرى خطوط امتصاصية والتي تنتج عن سقوط ضوء النجوم على مادة السديم فينعكس ويتشتت بواسطة الدقائق الغبارية الصغيرة (Dust grains) الموجودة فيها ولهذا السبب تُرى مضيئة ويكون طيفها مشابهاً لطيف نجومها القريبة منها ومما يؤكد ذلك أن الضوء السديمي المنعكس عن الغبار يكون أكثر زرقة من ضوء النجوم التي يتشتت ضوءها، كا أن لون النجوم الموجودة في السديم العاكس تبدو أكثر احمراراً مما هي عليه حقيقة. ويبلغ قطر الدقائق الغبارية المُشتِّتة للضوء حوالي 10^{-5} بوصة. كما أن النجوم التي تضيء سدم الإنعكاس يجب أن تكون ذات سطوع عالي وإلاّ لظهرت السدم خافتة ومالم يكن النجم عملاقاً فإن معظم هذه السدم ترى بجوار نجوم من المرتبة الطيفية A وحتى B2. ومن الأمثلة على هذا النوع من السدم العاكسة ذلك المحيط بعنقود الثريا والمرئي بلون أزرق كما في الشكل (12-8).

الشكل (8-12) السدم المعتمة **Dark Nebula**

وهي سدم هائلة شبيهة بالنوعين السابقين من ناحية الخواص الفيزيائية للمادة السديمية إلا أنها تتميز بعدم احتوائها على نجوم تضيئها، ويعتبر ضوء أي نجم قريب منها غير كافي لجعلها لامعة أو لأنها قد تعكس الأشعة للداخل ولذلك تُرى معتمة وتحجب ضوء النجوم الواقعة خلفها مكونة فجوات مظلمة في الفضاء. ومنها سديم رأس الحصان في كوكبه الجبار Horse Head Bebula كما في الشكل (8-13).

الشكل (8-13) يوضح سديم راس الحصان المعتم

أسئلة الفصل الثامن

1 – ما المقصود بالعنقود النجمي وكم نوعا العناقيد النجمية؟

2 – ما هي خصائص العنقود النجمي المفتوح؟

3 – ما هي خصائص العنقود النجمي الكروي المغلق؟

4 – بماذا تتشابه نجوم العنقود النجمي وبماذا تختلف؟

5 – أين توجد العناقيد النجمية الكروية في مجرتنا؟

6 – رُصد نجمان في احد العناقيد النجمية فكان لهما نفس القدر الظاهري والرتبة الطيفية، قارن بين خواصهما؟

8 – عرِّف السدم الغازية، وما هو سبب توهج السدم الانبعاثية، وما هو اللون الغالب عليها؟

9 – ما هو أنسب وقت لرؤية عنقود الثريا في سماء الاردن.

10 – هل يمكن لعنقود نجمي ان يحتوي على نجوم من نوع (0) الساخنة ونجوم من نوع (G) الباردة في نفس الوقت؟ ولماذا؟.

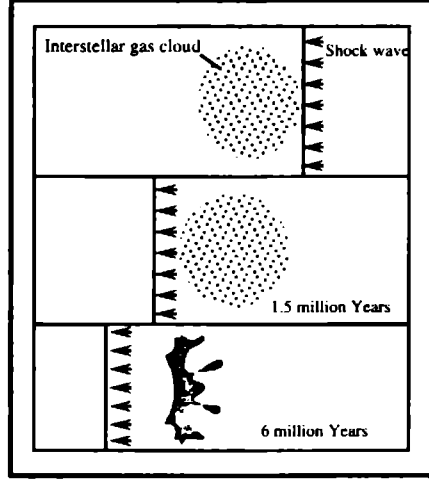
11 – عنقودان نجميان هما القلاص والجاثي، اذا كانت نقطة التحول على مخطط H - R البياني للقلاص تقابل الصنف النجمي A ونقطة تحول عنقود الجاثي تقابل الصنف النجمي F فأيهما اقدم من الآخر؟

الفصل التاسع

البناء النجمي

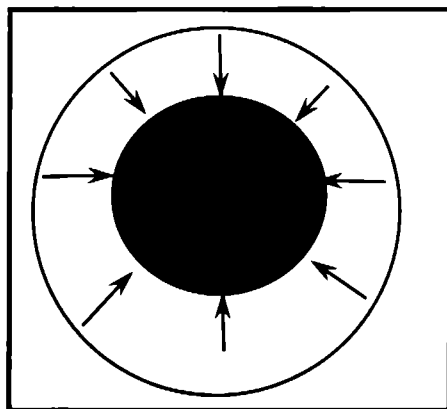
Stellar Structure

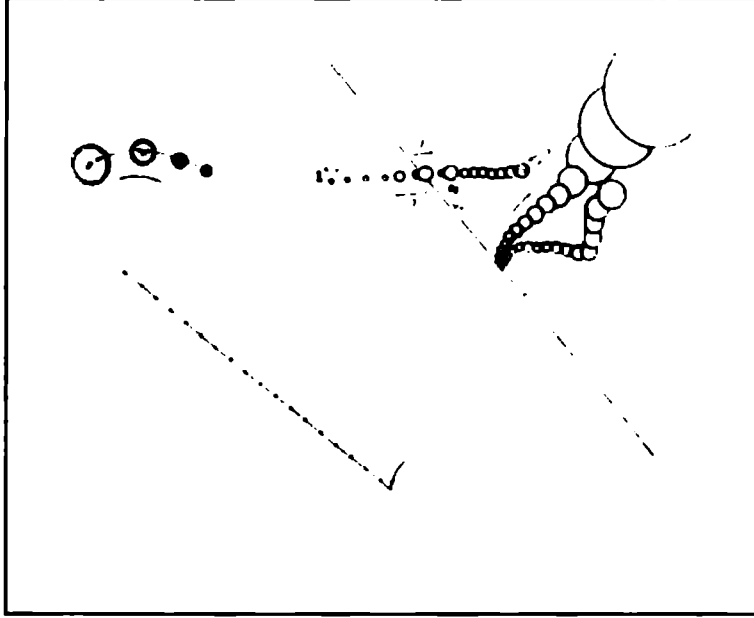
9:1 نشأة النجوم (Star Formation)

يبدأ تشكل النجوم بصورة سحابة ضخمة داكنة من الغبار والغاز والمنتشرة بكثرة في مجرتنا، وترتبط عادة الجزيئات المادية المكونة للسحابة بقوى الجاذبية الذاتية التي تمنع تشتتها وضياعها في الفضاء. ومعظم مادة السحابة من الهيدروجين وقليل من الهيليوم وتبلغ درجة حرارة الغاز حوالي (20k) ولربما كانت السحابة بلا هيئة معينة، وتتحرك جزيئات السحابة حركة عشوائية، بطيئة جداً، وفي لحظة ما كما في الشكل (1-9)، بدأت السحابة تنكمش على نفسها ولربما اصبحت تدور حول نفسها ببطيء ويعتقد العلماء أنه من المحتمل إنها اصطدمت بموجة صدمية (رجية) Shock waves جاءت من انفجار نجم بعيد (سوبرنوفا)، حيث تخللت الموجة السحابة الغازية، وبطريقة ما ضغطت السحابة إلى نقطة حيث تغلبت قوى الجاذبية لجميع جزيئاتها على نزعتها الطبيعية في التشتت طبقاً للحركة العشوائية ومنذ ذلك الوقت فصاعداً بدأت السحابة تتكاثف وتتقلص ببطيء شديد إلى أن اصبح متوسط كثافتها حوالي 10^{-16} كغم / م^{3} بالنسبة لسحابة غازية بكتلة الشمس تقريباً ويصل قطرها حوالي 10^{15} متراً، وتدعى تلك السحابة المنهارة بالنجم الأولي (Protostar) حيث يتسارع انهيارها متغذياً على نفسه دون أن يعيقها الضغط الداخلي للغاز شريطة أن تكون القيمة المطلقة لطاقة الوضع التجاذبية للسحابة أكبر من الطاقة الحركية لمكوناتها.

الشكل (9-1) يوضح تكوّن النجوم من السدم الغازية

ويعتقد العلماء أن النجم الأولي قادر على اصدار أمواج راديوية يمكن التقاطها على الأرض، وأنه نتيجة للإنكماش في حجم السحابة يتحول جزء من طاقة الوضع التجاذبية إلى طاقة حرارية تؤدي إلى تسخين الغاز والغبار وانبعاث إشعاعات جديدة منه ولكن السحابة غير شفافة تماماً للضوء المرئي في حين أن الشعاع الضعيف تحت الأحمر المنبعث من السحابة هو الدليل الوحيد على وجود نجم أولي بداخلها.

وبالقرب من مركز السحابة كان كل من الكثافة والجاذبية عظيماً، بحيث تكوّن قلب مركزي كثيف في داخل السحابة. وزاد معدل دورانها نسبياً طبقاً لقانون بقاء الزخم الزاوي، واخذت السحابة تأخذ شكلاً بيضاوياً وبالتدريج كان جزءاً كبيراً من طاقة الوضع التجاذبية المتحررة تعمل على تفكيك جزئيات الهيدروجين إلى ذرات حرة ومن ثم تعمل على تأينها إلى بروتونات موجبة الشحنة والكترونات سالبة الشحنة (حيث يحتاج جزيء الهيدروجين إلى طاقة مقدارها (4.5) الكترون فولت ليتفكك إلى ذرتين وتحتاج ذرة الهيدروجين إلى طاقة تأين مقدارها (13.6) الكترون فولت) ولذلك يقدر العلماء الفترة الزمنية اللازمة لتقلص سحابة غازية كتلتها مثل كتلة الشمس ومن نق1 = (10^{15}) متراً (نجم أولي) إلى نق2 = (10^{11}) متراً بحوالي (20) ألف سنة تقريباً وعندما يتأين جميع الهيدروجين في النجم الأولي المنهار، فإن السحابة تصبح

غير شفافة تماماً لإشعاعاتها الذاتية مثل الشعاع تحت الأحمر فتعمل هذه على امداد الإلكترونات والأيونات بطاقة حركية حرارية، وترتفع الحرارة في السحابة وفي المركز لدرجة كبيرة حيث تبدأ الغازات المتأينة ببذل ضغوطاً نحو الخارج، تؤدي إلى مقاومة عمليات الإنكماش للداخل فتبطئها تدريجياً إلى أن يقترب النجم الأولي من الوصول إلى حالة الإتزان الهيدروستاتيكي كما في الشكل (2-9)، حيث تتعاضد قوة ضغط الغازات الساخنة مع الضغط الإشعاعي لموازنة قوة الجاذبية الذاتية عند كل نقطة داخل النجم ومنع أي تقلص ممكن. وقد تستمر عمليات التكاثف والإنكماش لنجم أولي (شبيه بكتلة الشمس) حوالي 30 مليون عام بحيث تتصاعد درجة الحرارة فتصل إلى حوالي 10 مليون درجة مطلقة وأما الضغط في المركز فيزداد حتى تصل إلى حوالي 10^9 ضغط جوي عادي، فتتهيأ الظروف لبدء التفاعلات الإندماجية النووية حيث تندفع أنوية الهيدروجين بسرعات كبيرة تجعلها تتقارب وتصطدم ببعض بدلاً من التنافر الضعيف فيها وتكون هذه الإصطدامات أكثر عدداً وعنفاً في المناطق القريبة من المركز بحيث تندمج أربعة أنوية من الهيدروجين لتكون نواة هيليوم عادية ويكون التحول السابق مصحوباً بفائض من الطاقة. وفي تلك اللحظة يبدأ النجم حياته كنجم حقيقي من نجوم التتابع الرئيسي، ويجب ملاحظة أنه مع حدوث التفاعلات الإندماجية النووية في مركز النجم وتحرر الطاقة النووية تقل الحاجة إلى تحرر طاقة الوضع التجاذبية ويتوقف الإنكماش عندها حيث يصبح انتاج الطاقة النووية كافياً لتعويض الطاقة الضوئية المفقودة من سطح النجم بالإشعاع.

الشكل (2-9) يوضح الاتزان الهيدروستاتيكي للنجم

وتدل الحسابات النظرية في الفيزياء الفلكية على أن الانكماش الذاتي لنجم أولي ذو كتلة أقل من كتلة الشمس يولد درجة حرارة في المركز أقل منها في حالة الشمس. ولنجم أولي أكبر كتلة من الشمس يؤدي الانكماش الذاتي تحت تأثير الجاذبية، الى تولد حرارة مركزية أعلى منها في حالة الشمس. كما أنه يوجد نهاية صغرى لكتلة النجم الأولي حتى يستطيع إنتاج طاقة نووية ذاتية وهي تقارب 0.08 كتلة شمسية حيث إذا كانت الكتلة أقل من ذلك فإن المقاومة الناتجة عن الالكترونات المنحلة في السحابة والتي تؤثر للخارج تعمل ضد قوى التقلص التجاذبية (للداخل) وغالباً تدعى هذه الأجسام بالأقزام البنية Brown Dwarfs والالكترونات المنحلة هي الكترونات عادية تقترب من بعضها البعض نتيجة التأثير عليها بقوة خارجية (انكماش السحابة) لدرجة تصبح المسافة بين الالكترونات مساوية لطول موجة ديبرولي للالكترونات. ويوجد أيضاً حداً أعلى لكتلة النجم الأولي حتى يصل لحالة الإتزان الهيدروستاتيكي حيث في هذه الحالة يتعاون ضغط الإشعاع الفوتوني مع ضغط الغاز الساخن المؤثرين للخارج ضد قوة الجاذبية المؤثرة للداخل فلا يتمكن النجم الأولي الثقيل من الوصول إلى التوازن المطلوب فينشطر على نفسه إلى نجمين أو أكثر بسهولة والنهاية العظمى لكتلة النجم الأولي تتراوح بين ($50\ M_{O}$) إلى ($100\ M_{O}$) ولذلك فإن مثل هذه النجوم نادرة الوجود. لأن احتمال تكونها قليل جداً، كذلك ذكرنا أن نجماً يعادل كتلة الشمس يحتاج إلى 30 مليون عام حتى ينتج طاقة نووية، ولنجم آخر كتلته $10\ M_{O}$ فإنه يحتاج لفترة أقل نسبياً حوالي 25 مليون عام، ولنجم أخر كتلته $0.2\ M_{O}$ فإنه يحتاج لفترة أطول نسبياً حوالي 500 مليون عام ويظهر النجم الحقيقي الساطع بالضوء المرئي على خط التتابع الرئيسي (كنجم ناضج) فالنجوم الثقيلة تظهر في الجزء العلوي منه بينما تظهر النجوم الخفيفة في الجزء السفلي منه وذلك بسبب اعتماد النورانية النجمية على كتلة النجم كما في الشكل (3-9).

الشكل (3-9) يمثل التغير في النورانية ودرجة الحرارة لنجم اولي نامي

9:2 مصدر الطاقة النووية في النجوم

تتولد الطاقة النووية في النجوم بواسطة التفاعلات الاندماجية لأيونات الهيدروجين وغيره حيث يتحول جزء من كتلة المواد المتفاعلة إلى طاقة حسب معادلة اينشتاين التالية:

الطاقة المتحررة = كتلة المادة المتحولة إلى طاقة x مربع سرعة الضوء

وبالرموز : $E= \Delta \ m. C^2$

حيث Δm : كتلة المادة المتحولة بالغرام.

C : سرعة الضوء (سم / ثانية)

E : الطاقة الناتجة بالأرغ

ويعتقد العلماء أنه هناك طريقتان مختلفتان لتحويل الهيدروجين إلى هيليوم وطاقة وهما:

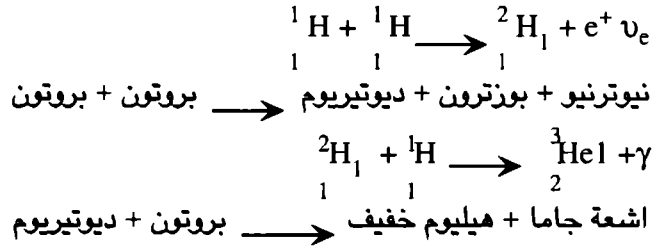
أ) دورة البروتون – بروتون (P - p chian) :

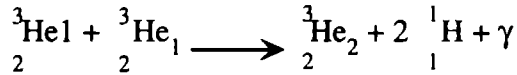
ويتم هذا النوع من التفاعلات الاندماجية في النجوم التي لا تزيد كتلتها على كتلة الشمس وحيث درجة حرارة مركزها حوالي بضعة ملايين من الدرجة المطلقة ويتلخص التفاعل بالخطوات التالية:

$$ {}^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{2}_{1}H_{1} + e^{+} \upsilon_{e} $$

نيوترنيو + بوزترون + ديوتيريوم ⟵ بروتون + بروتون

$$ {}^{2}_{1}H_{1} + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{2}He1 + \gamma $$

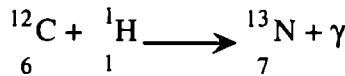
اشعة جاما + هيليوم خفيف ⟵ بروتون + ديوتيريوم

وتعاد الخطوتين السابقتين لتكوين نواة هيليوم خفيفة اخرى ثم تحدث الخطوة الأخيرة من التفاعل

$$ {}^{3}_{2}He1 + {}^{3}_{2}He_{1} \longrightarrow {}^{3}_{2}He_{2} + 2\ {}^{1}_{1}H + \gamma $$

أشعة جاما + بروتونات + هيليوم ثقيل ⟵ هيليوم خفيف + هيليوم خفيف

ونلاحظ أن المحصلة النهائية لهذا التفاعل هو اندماج اربع بروتونات حرة لتكوين نواة هيليوم ثقيل وطاقة متحررة.

ب) دورة الكربون - النيتروجين - الاكسجين (CNO Cycle)

كان أول من اقترحها كل من بيث وفون فاي وسكار ويتم هذا التفاعل في النجوم التي تزيد كتلها عن كتلة الشمس حيث درجة حرارة مركزها اكثر من 10 مليون درجة مطلقة حيث يدخل الكربون كعامل مساعد ولا يستهلك في التفاعل أما عنصري الأكسجين والنيتروجين فهي نواتج ثانوية ويمكن تمثيل خطوات التفاعل كما يلي:

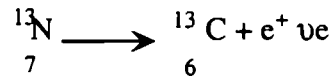
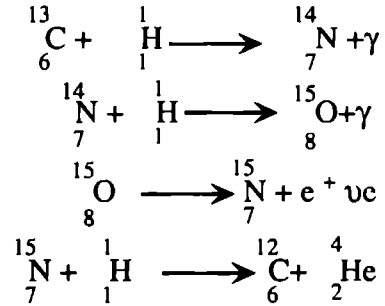
$$ {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{13}_{7}N + \gamma $$

نيتروجين بروتون + نواة كربون

$$ {}^{13}_{7}N \longrightarrow {}^{13}_{6}C + e^{+} \upsilon e $$

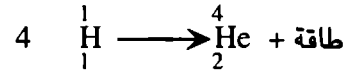
$$^{13}_{6}C + \ ^{1}_{1}H \longrightarrow \ ^{14}_{7}N + \gamma$$

$$^{14}_{7}N + \ ^{1}_{1}H \longrightarrow \ ^{15}_{8}O + \gamma$$

$$^{15}_{8}O \longrightarrow \ ^{15}_{7}N + e^{+} \upsilon c$$

$$^{15}_{7}N + \ ^{1}_{1}H \longrightarrow \ ^{12}_{6}C + \ ^{4}_{2}He$$

وتكون محصلة هذا التفاعل هو اندماج أربع بروتونات لتكوين نواة هيليوم ثقيل تماماً كما في دورة البروتون – بروتون، وينتج نفس كمية الطاقة المتحررة ولقد دلت الحسابات النظرية على أن كفاءة هذا التفاعل الحرارية هي (0.7%) من كتلة الهيدروجين المتفاعل.

والآن دعنا نحسب كمية الطاقة المتحررة من اندماج أربع بروتونات هيدروجينية إلى نواة هيليوم ثقيل كما في المعادلة التالية:

$$4 \ ^{1}_{1}H \longrightarrow \ ^{4}_{2}He + \text{طاقة}$$

فإذا علمنا أن كتلة البروتون الواحد = 1.67×10^{-27} kg

وأنّ كتلة الهيدروجين المتفاعل (m_H) = $4 \times 1.67 \times 10^{-27}$ kg

وأن كتلة المادة المتحولة إلى طاقة (Δm) = $\frac{0.7}{100} \times 4 \times 1.67 \times 10^{-27}$ kg

$$= 4.676 \times 10^{-29} \text{ kg}$$

كمية الطاقة المتحررة $E = \Delta m \times C^2$

$$= (4.676 \times 10^{-29}) \text{ kg } (3\times10^{8})^2 \text{ m}^2 / \text{s}^2$$

$$= 4.2084 \times 10^{-12} \text{ Joule}$$

$$= 4.2 \times 10^{-5} \text{ erg}$$

والجدير بالذكر أن هذه الطاقة المتحررة تنتج لأن نواة الهيليوم الناتجة تملك كتلة أقل من مجموع كتل أنوية الهيدروجين الأربعة. ويشكل مقدار النقص في الكتلة حوالي 0.7% من

الكتلة الإبتدائية لأنوية الهيدروجين المتفاعلة، ومقدار الطاقة المكافئة له كبير جداً إذا تصورنا أنه في نجم كالشمس يندمج عدد كبير جداً من انوية الهيدروجين في كل ثانية تصل إلى حوالي $6x10^5$ طن من الهيدروجين الذي يتحول إلى هيليوم.

9:3 انتقال الطاقة في النجوم

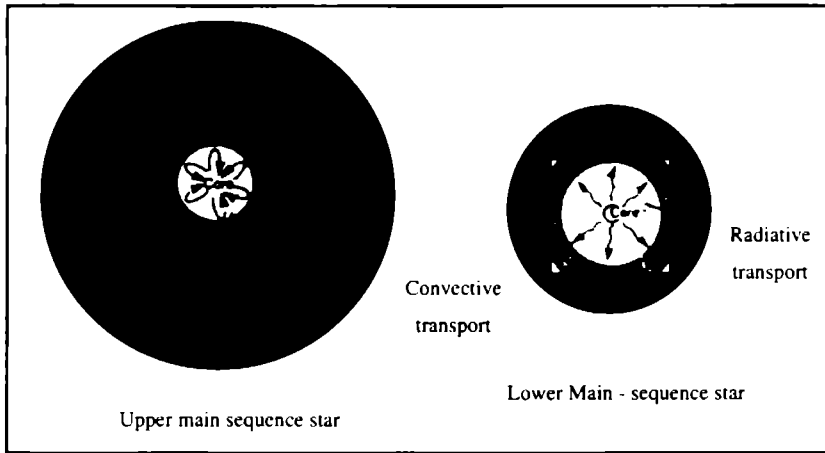
بما أن النجوم تتكون في باطنها من كرة ضخمة من الالكترونات والايونات الموجبة الشحنة حيث تتبادل التأثيرات المختلفة على بعضها البعض، فيشع بعضها إشعاعات كهرومغناطيسية لا تلبث أن تتفاعل ثانية مع الالكترونات والايونات في باطن النجوم، ولحسن حظنا على الأرض فإن هذه الإشعاعات الواقعة في مجال اشعة جاما لا تنفذ من جوف الشمس، فتبقى محصورة بداخله وهي باستمرار تعاني من تشتت وامتصاص وانبعاث من الالكترونات والايونات، وبهذا يتشكل ميل انحداري في درجة الحرارة، وببطء تنتشر الطاقة باتجاه السطح (الفوتوسفير) حيث تفلت كاشعاع مرئي.

إن انتشار الفوتونات الضوئية من مركز النجم إلى سطحه يتم على مسار عشوائي متعرج حيث يتشتت ويمتص وينبعث الفوتون بإتجاه مختلف في كل مرة. ولقد دلت الحسابات النظرية على أن متوسط المسار الحر للفوتون في جوف الشمس حوالي ملميتر واحد (أي أن الشمس مُنفذ جيد للضوء) ويستغرق الضوء زمن يعادل 50 الف عام حتى ينتشر من مركز الشمس ويفلت من سطحها، ويجب أن نؤكد هنا أن الإنتشار الإشعاعي العشوائي يقيد من سريان الطاقة الإشعاعية ويمنع الشمس من فقدان الحرارة بشكل مدمر، وحقيقة الأمر أن تبادل الطاقة ما بين مركز النجم وسطحه ومن ثم الفضاء الخارجي يتم بطريقتين هما،

أ) الإنتشار الإشعاعي العشوائي (للفوتونات) Radiative diffusion

ويعتمد على الحركة الحرارية العشوائية لمكونات النجم، حيث تنتقل الالكترونات والأيونات من مكان لآخر وتصطدم ببعضها وتتفاعل وتنتقل الطاقة من المناطق الساخنة إلى الباردة وتدعى هذه الطريقة بالتوصيل الحراري وفي حالة انتقال الفوتونات من مكان لآخر حيث تمتص وتنبعث وتتشتت ثانية بإتجاه مغاير للإتجاه الأصلي وتدعى هذه الطريقة لإنتقال الطاقة (بالإنتشار الإشعاعي).

ب) انتقال الطاقة بواسطة تيارات الحمل Convective heat transfer

وتعتمد هذه الطريقة على الحركة الجماعية للجسيمات المكونة للنجم فإذا كان هناك تدرج كبير في درجة حرارة النجم فإن الحرارة تنتقل من المناطق الساخنة إلى الباردة بصعود تيارات ساخنة من الغازات القليلة الكثافة إذ ترتفع لمسافات كبيرة تخترق سطح النجم ثم تهبط ثانية على شكل تيارات باردة وكثيفة تغوص داخل سطح النجم، وبذلك يتم مزج وتوزيع الطاقة الحرارية بين مكونات النجم، ولقد وجد العلماء أنه في النجوم التي هي مثل الشمس او أقل منها كتلة توجد المنطقة الحملية لتبادل الطاقة في المنطقة الخارجية القريبة من السطح. بينما توجد منطقة الإنتشار الإشعاعي العشوائي في المنطقة الداخلية القريبة من المركز، وفي النجوم الأثقل من الشمس توجد المنطقة الحملية في الداخل القريبة من المركز وأما منطقة الإنتشار الإشعاعي العشوائي فيوجد في المناطق الخارجية القريبة من السطح كما في الشكل (9-4)

الشكل (4-9) يمثل انتقال الطاقة في داخل النجم

9:4 نظرية رسل وفوجت (The Russel Vogt Theorem)

تنص هذه النظرية على أن جميع الخواص الأساسية لنجم ما عند عمر معين تعتمد على كتلة النجم وتركيبه الكيماوي بالدرجة الأولى، وقد تعتمد على مجاله المغناطيسي وعلى سرعة دورانه حول نفسه بالدرجة الثانية.

والواقع أن كتلة النجم المتكون تحدد طاقة الوضع التجاذبية المتوفرة وهذه بدورها تحدد أعلى درجة حرارة في مركز النجم يمكن الوصول إليها. أما التركيب الكيماوي للنجم المتكون فيلزمه درجة حرارة معينة يجب أن يصل إليها مركز النجم حتى تبدأ التفاعلات الاندماجية النووية بين مكوناته وطبقاً لنوع التفاعلات التي ستحدث تتحدد كمية الطاقة التي ينتجها ويشعها النجم (النورانية).

وعلى ضوء اختيارنا للنورانية ودرجة الحرارة المركزية للنجم فإن نصف قطر النجم يكون قد تحدد اتوماتيكياً.

5 : 9 فترة حياة النجم على خط التتابع الرئيسي

تعتمد فترة حياة النجم على خط التتابع الرئيسي على عاملين هما:

أ) كمية الطاقة الناتجة في التفاعلات الاندماجية النووية في مركز النجم وهذه تتناسب طردياً مع كتلة الهيدروجين المتفاعل ويعتمد بدوره على كتلة النجم الفعالة بالقرب من المركز حيث درجة الحرارة العالية جداً واللازمة لبدء التفاعلات الاندماجية النووية.

ب) معدل ما يشعه النجم من الطاقة الضوئية إلى الفضاء الخارجي، مع العلم بأن النجم لا يشع كل الطاقة الناتجة في مركزه، ولتقدير فترة حياة الشمس كنجم تتابع رئيسي دعنا نجري بعض الحسابات البسيطة التالية:

نفرض أن كتلة الشمس الكلية $1M_O = 2 \times 10^{33}$ gm

ولنفرض أن الكتلة الفعالة من الهيدروجين =10% من كتلة الشمس.

فتكون كتلة الهيدروجين المتفاعل $m_H = \frac{10 \times 2 \times 10^{33}}{100}$ gm

$$mH = 2 \times 10^{32} \text{ gm}$$

وتكون كتلة الهيدروجين المتحول إلى طاقة (Δm_H)

$$\Delta m H = 0.7\% (2 \times 10^{32} \text{ gm})$$

$$= \frac{0.7}{100}\ (2x10^{32}\ gm) = 1.4\ x\ 10^{30} gm$$

وتكون كمية الطاقة الناتجة حسب معادلة اينشتاين

$$\Delta E_{\Theta} = A\ m_H .\ C^2$$

$$\Delta E_{\Theta} = (1.4\ x\ 10^{30}\ hm)\ (3x10^{10} \frac{cm}{sec})^2$$

$$\Delta E_{\Theta} = 1.26\ x\ .10^{51}\ ergs$$

لاحظ أن هذه الكمية من الطاقة تنتج طوال وجودها على خط التتابع الرئيسي ولكن الشمس تبعث إلى الفضاء الخارجي في كل ثانية كمية من الطاقة (النورانية) تساوي $L_{\Theta} = 4x10^{33}\ erg/sec$

وباستخدام الرياضيات الأولية يمكن حساب فترة حياة الشمس أثناء تحويلها الهيدروجين إلى هيليوم كما يلي:

في كل ثانية تبعث الشمس كمية من الطاقة مقدارها إرغ $L_{\Theta} = 4\ x\ 10^{33}$ وتحتاج إلى Δt ثانية لتبعث كمية من الطاقة إرغ $\Delta E_{\Theta} = 1.26x10^{51}$

وتعطى فترة حياتها : $\Delta t = \frac{\Delta E_{\Theta}\ x\ 1\ sec}{L_{\Theta}}$

$$\Delta t = \frac{1.26\ x\ 10^{51}\ erg.\ sec.}{4\ x\ 10^{33}\ erg.} = 3.15\ x\ 10^{17}\ sec.$$

$$\Delta t = \frac{3.15\ x\ 10^{17}\ sec}{3.15\ x\ 10^{7} \frac{sec}{year}} = 10^{10}\ year$$

$$\Delta t = 10\ x\ 10^{9}\ year$$

ولذلك تقدر فترة حياة الشمس حسب افتراضنا لكمية الهيدروجين المتفاعل بالقرب من

المركز بحوالي 10 بليون عام، انقضى منها (4.5) بليون عام وبقي من عمرها (5.5) بليون عام أخرى.

ج) حساب فترة حياة نجم أكبر كتلة من الشمس ويقع على الجزء العلوي من خط التتابع الرئيسي.

نفرض أن كتلة النجم هي $M = 50\ Mo$

ونفرض ان نورانية النجم هي $L = 10^6\ Lo$

وعلى افتراض ان 10% فقط من كتلة النجم تتحول الى هيليوم فان معدل حياة النجم على خط التتابع الرئيسي تعطى بالعلاقة السابقة.

$$\Delta t = \frac{\Delta E_{tot}}{L} = \frac{50\Delta\ E_{\Theta}}{10^6\ L_{\Theta}}$$

$$= 50 \times 10^{-6}\ (10^{10} year)$$

$$\Delta t = 50 \times 10^4\ year = 0.5 \times 10^6\ year$$

من هنا نلاحظ ان فترة حياتها قصيرة جداً (نصف مليون عام).

وذلك لأن معدل حدوث التفاعلات الاندماجية في وحدة الزمن اكبر في النجوم الثقيلة. لكون درجة حرارة مركزها عالية جداً.

د) حساب فترة حياة نجم أقل كتلة من الشمس ويقع على الجزء السفلي من خط التتابع الرئيسي.

نفرض ان كتلة النجم هي $M = 0.05\ M_{\Theta}$

وتكون نورانية النجم هي $L = 10^{-4}\ L_{\Theta}$

وعلى فرض ان 10% فقط من كتلة النجم الهيدروجينية تتفاعل لتنتج هيليوم وطاقة فان معدل حياة النجم على خط التتابع الرئيسي، تحسب كما في الأمثلة السابقة:

$$\Delta t = \frac{\Delta E_{tot}}{L} = \frac{0.05 \ \Delta E_\Theta}{10^{-4} L_\Theta}$$

$$= 5 \times 10^2 \ (\frac{\Delta E_\Theta}{L_\Theta}) = 5 \times 10^2 \ (10^{10}) \ year$$

$$= 5 \times 10^{12} \ year = 5000 \times 10^9 \ year$$

أي ان هذا النجم سيمضي حوالي خمسة آلاف بليون عام وهو يحرق الهيدروجين وهي فترة طويلة جداً من حياته ويعتقد ان معدل حدوث التفاعلات الاندماجية النووية في وحدة الزمن قليلة نسبياً مما يجعل استهلاكها للهيدروجين بطيئاً جداً. ولذلك نستنتج ان النجوم الثقيلة تلتهم الهيدروجين في مركزها بمعدل سريع في وحدة الزمن على العكس من النجوم الأقل كتلة.

9:6 التركيب الكيماوي للنجوم وانتاج العناصر الثقيلة

لقد تمكن العلماء من التعرف على المواد التي تتركب منها النجوم، باستخدام التحليل الطيفي لاشعتها الضوئية، حيث لكل مادة اذا ما بلغت مرحلة التوهج طيف خاص بها كما تقدم معنا سابقاً. ويلاحظ اختلاف نسب تلك المواد، ويعتقد ان هذا ناتج عن المرحلة التي بلغها النجم في درجة تطوره، كما سنرى عند دراسة مراحل التطور النجمي، واهم المواد الموجودة في النجوم هي:

1- الهيدروجين : وتتراوح نسبته ما بين %(90 - 30) حسب عمر النجم ومدى تطوره.

2- الهيليوم : وتتراوح نسبته ما بين %(60 - 10) حسب عمر النجم ومدى تطوره

3- الاوكسجين: وتبلغ نسبته حوالي 1% حسب عمر النجم ومدى تطوره

4- الكربون : وتبلغ نسبته حوالي 0.4% حسب عمر النجم ومدى تطوره.

5- الحديد: وتبلغ نسبته حوالي 0.16% حسب عمر النجم ومدى تطوره

6- السيليئيوم : وتبلغ نسبته حوالي 0.1% حسب عمر النجم ومدى تطوره

7- النيتروجين : وتبلغ نسبته حوالي 0.1% حسب عمر النجم ومدى تطوره

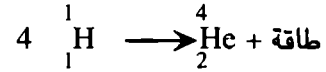
8- المغنيسيوم: وتبلغ نسبته حوالي 0.09% حسب عمر النجم ومدى تطوره

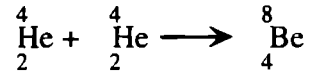
9- النيون: وتبلغ نسبته حوالي 0.07% حسب عمر النجم ومدى تطوره.

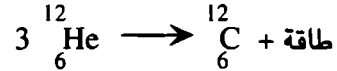
وبصورة عامة فان النجوم الفتية الحديثة تكون نسبة الهيدروجين فيها اكثر من 95% من تركيبها بينما تتراوح نسبته في النجوم الهرمة ما بين %(5-10).

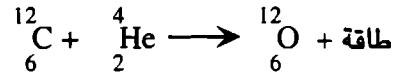
ويلاحظ بأن التفاعلات النووية تتقدم في اتجاه احتراق العناصر ذات الوزن الذري المنخفض لتكون عناصر جديدة ذات وزن ذري ثقيل وهذه بعض التفاعلات الاندماجية النووية الممكنة الحدوث في باطن النجوم بصورة عامة.

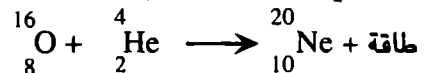
أ) اندماج ايونات الهيدروجين لتكوين الهيليوم عند درجة حرارة معينة:

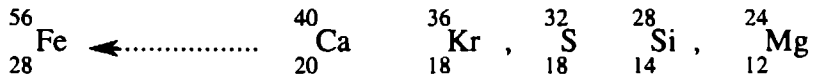
$$4\ {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + \text{طاقة}$$

ب) اندماج الهيليوم مع بعضه لتكوين عنصر البريليوم (وهو غير مستقر سرعان ما يتفكك مرة اخرى) مع العلم انه يتم عند درجة حرارة اعلى من التفاعل السابق.

$${}^{4}_{2}He + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{8}_{4}Be$$

ج) اندماج الهيليوم مع بعضه لتكوين نواة الكربون (تفاعل الفا الثلاثي). ويتم عند درجة حرارة اعلى من التفاعل السابق:

$$3\ {}^{12}_{6}He \longrightarrow {}^{12}_{6}C + \text{طاقة}$$

د) اصطياد نواة الهيليوم بواسطة نواة الكربون.

$${}^{12}_{6}C + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{12}_{6}O + \text{طاقة}$$

هـ) وفي مرحلة لاحقة يتم التفاعل التالي:

$${}^{16}_{8}O + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{20}_{10}Ne + \text{طاقة}$$

وبنفس الطريقة يتم بناء عناصر اثقل فيتكون:

$${}^{24}_{12}Mg\ ,\ {}^{28}_{14}Si\ \ {}^{32}_{18}S\ ,\ {}^{36}_{18}Kr\ \ {}^{40}_{20}Ca\ \ \ldots\ldots\ldots\ldots \longleftarrow {}^{56}_{28}Fe$$

أسئلة الفصل التاسع

1 - على ماذا تعتمد فترة حياة النجم؟

2 - ما هو مصدر طاقة النجوم؟

3 - كيف يمكن البحث عن النجوم الوليدة؟

4 - ما هو متوسط عمر نجم رتبته الطيفية (B) إذا كانت كتلته ($15M_O$) ونورانيته ($L=4500L_0$) ؟

5 - ما هي القوة التي تعمل على تكوين النجم؟

6 - ما هي نسبة النجوم التي تقع على خط التتابع الرئيسي ضمن عينة هائلة من النجوم المرسومة على مخطط (H - R)؟

7 - ما هو شكل العلاقة الرياضية ما بين كتلة نجم تتابع رئيسي وفترة حياته؟

8 - كيف عرفنا ان النجم العادي يجب ان يكون في حالة اتزان هيدروستاتيكي ما بين قوى الضغط والجاذبية. وماذا سيحدث لو كان هذا الاتزان غير موجود؟

9 - لخص الاختلافات في طريقة توليد الطاقة، والتركيب الداخلي وجميع الخواص العامة الأخرى ما بين نجوم على الجزء السفلي من التتابع الرئيسي ونجوم في الجزء العلوي منه؟

10 - لماذا تكون النجوم الساطعة جداً نادرة الوجود في السماء؟

11 - اذكر سببين يوضحان لماذا تبقى التجمعات النجمية الشابة (OB) لبضعة ملايين من السنوات على الأغلب.

12 - مم تتركب النجوم كيماوياً؟

الفصل العاشر

تطور النجوم

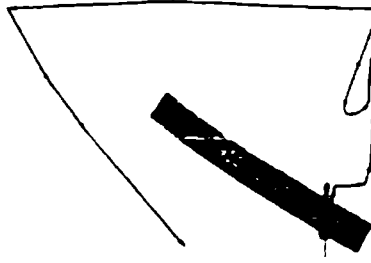
Stellar Evolution

10:1 مقدمة

تعتبر النجوم الوحدات الأساسية في بناء المجرات، وقد يدلنا اختلاف اشكالها وحجومها ودرجة حرارتها على ان هذه النجوم قد تكون ثابتة، او ان لها بداية ونهاية. ولما كانت النجوم تبعث طاقة ضوئية باستمرار، فلا بد ان مادة النجوم في تناقص مستمر، حسب معادلة اينشتاين المعروفة في تحول المادة الى طاقة، وبالتالي لا بد ان يكون لهذه النجوم نهاية. على هذا النحو يدور تصور علماء الفلك لما كان وسيكون، حيث اصبح واضحاً الآن، ان النجوم بصورها المختلفة (العملاقة، والعادية، والقزمة) ليست اجرام مختلفة تماماً عن بعضها، بل تمثل مراحل التطور النجمي (Stellar Evolution) التي يمر بها النجم، فهو يولد وينمو ويكبر ثم يموت كالكائن الحي تماماً، ولكن التطورات في حاية النجوم بطيئة للغاية، وذلك بالقياس باعمارنا، وتتطلب ملاحظتها ملايين السنين وسنوضح هنا دورة حياة نجم ما، ابتداءً بمرحلة التكوين والولادة (نجم أولي) مروراً بمرحلة التتابع الرئيسي (الشباب والاستقرار) ثم بمرحلة العملاق الاحمر (الشيخوخة) ثم مرحلة الموت (التقزم) وهذا ما أكدته مسارات التطور للعناقيد الكروية حسب تمثيل (H-R) البياني.

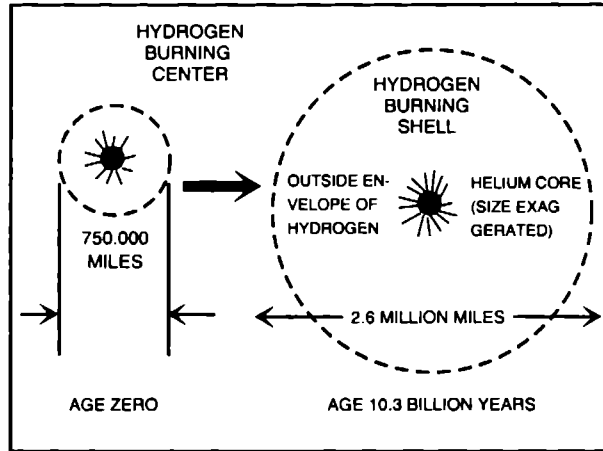
10:2 مرحلة التكوين والولادة (النجم الأولي) (Proto Stars)

لقد تأكد العلماء في الوقت الحاضر ان السماء مليئة بالغاز والغبار الكوني الذي يتمثل لأعيننا في سحب وسدم مختلفة في كثافتها، ويبدأ النجم بالتكون من خلال تكاثف سحابة غازية، حيث تنكمش تدريجياً بفعل قوى الجاذبية الذاتية، ويكون جنين السحابة كبيراً وبارداً (النجم الأولي) ومع استمرار الانكماش ترتفع درجة حرارة السحابة نتيجة تحول طاقة الوضع التجاذبية لمكوناتها الى طاقة حرارية، ويشغل النجم الأولي حيزاً علوياً الى اليمين من خط التتابع الرئيسي في تمثيل (H-R) البياني حسب نظرية هياشي الياباني حيث يكون النجم الأولي غير مستقر وعند انكماشه تدريجياً لا ترتفع درجة حرارة سطحه مباشرة، ولذلك تقل

نورانيته مع بقاء مرتبته الطيفية ثابتة ويظهر مسار تطوره على مخطط (H - R) على شكل خط عامودي إلى الأسفل (خط هياشي) وينطبق هذا الوضع على نجوم الكتل الصغيرة بالنسبة لكتلة الشمس. اما في النجوم المناظرة للشمس او الاثقل منها فان مسار تطورها يظهر على شكل مسار عمودي للاسفل ثم لا يلبث ان ينحرف نحو اليسار افقياً قبل وصولها خط التتابع الرئيسي. وتستغرق في حركتها زمناً اقل مما تحتاجه النجوم الصغيرة الكتلة وتزداد درجة حرارة سطحها خلال حركتها الافقية لليسار، حيث تصل خط التتابع الرئيسي لحظة بداية حدوث التفاعلات الاندماجية النووية في قلب النجم كما في الشكل (1-10).

الشكل (1-10) يوضح منحنى التطور النجمي

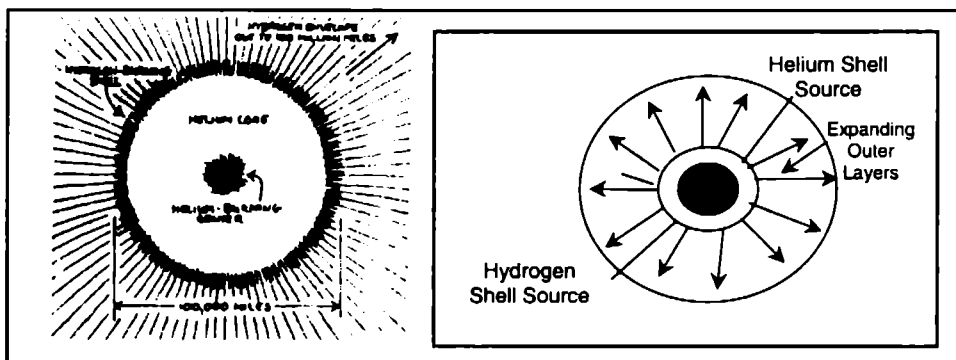
10:3 مرحلة التتابع الرئيسي (Main Sequence Star)

تبدأ مرحلة العمر الصفري لنجم التتابع الرئيسي، لحظة إنتاج الطاقة النووية بواسطة التفاعلات الاندماجية النووية لايونات الهيدروجين وتحوله الى هيليوم في قلب النجم حيث يتوقف الانكماش الناتج عن الجاذبية الذاتية ومن ناحية اخرى تبدأ هذه المرحلة عندما يظهر النجم في الجزء السفلي من خط التتابع الرئيسي ومع استمرار تحول الهيدروجين الى هيليوم فان هذا التغير في التركيب الكيميائي يعمل على تغيير البناء النجمي وخاصة نورانيته وحجمه الكلي. فيتغير موقعه على مخطط H - R البياني وتدل الحسابات النظرية على ان درجة الحرارة والكثافة يجب ان تزداد في مركز النجم ولذلك يزداد معدل حدوث التفاعلات

الاندماجية النووية، فتزداد النورانية النجمية ببطيء أولاً نتيجة ارتفاع درجة حرارة السطح تدريجياً، وثانياً نتيجة تمدد الغلاف الغازي الخارجي للنجم، ولذلك يرتفع موقع النجم ويتحرك للأعلى قليلاً على مخطط (H - R) البياني وبذلك يصبح خط التتابع الرئيسي في الواقع شريط له سمك محدود حيث تقع الشمس في منتصف هذا الشريط لأنها في منتصف عمرها. وتشع النجوم ضوءاً ثابتاً طوال مرحلة التتابع الرئيسي باستمرار حتى يتم استهلاك عشرة في المائة من الوقود الهيدروجيني داخل النجم وبعدها تبدأ مرحلة جديدة اخرى. وبناءً على هذا فان جوف النجم الناضج يحتوي على هيليوم في حين يوجد الهيدروجين في اغلفته الخارجية كما في الشكل (2-10).

الشكل (2-10) يوضح تركيب نجم تتابع رئيسي

10:4 مرحلة النجوم العملاقة والفوق عملاقة (Red, Super Giant Stars)

عندما يستنفذ الوقود الهيدروجيني في جوف النجم فلا يعود هناك مصدر للطاقة في الجوف، تبدأ المنطقة الداخلية (الجوف) والتي تتكون في معظمها من الهيليوم بالانكماش بسبب قوى الجذب الذاتية، ويستمر اندماج الهيدروجين على الحدود ما بين المنطقة الداخلية والغلاف الهيدروجيني الخارجي تحت سطح النجم. وينتج عن هذا الانكماش ارتفاع درجة حرارة المركز والتي تجمل اندماج الهيدروجين في الغلاف الخارجي يحدث بشكل اسرع، حيث تزداد نورانية النجم، وتعمل الطاقة الهائلة المتحررة من تفاعل الهيدروجين والانكماش

التجاذبي الذاتي على تمدد النجم مئات المرات حيث ينخفض متوسط كثافة النجم في كل مكان ما عدا منطقة الجوف ومع تمدد النجم فان درجة حرارته السطحية تنخفض، ويتحول لون سطح النجمي الى اللون الاحمر، ان هذا النوع من النجوم الباردة نسبياً والساطعة بنفس الوقت بسبب مساحة سطحها الهائل تدعى العملاق الاحمر او نجم فوق عملاق احمر حسب كتلة النجم مثل نجم الجوزاء (قطرها حوالي 400 ضعفاً من قطر الشمس). ويتوقع العلماء ان تتحول الشمس مثل بقية النجوم الأخرى الى نجم عملاق احمر في مرحلة لاحقة من عمرها. وعندها ستسطع بقوة اكبر بحيث ان مياه المحيطات ستتبخر، وتنصهر صخور الارض وستنتهي الحياة كما نعرفها على الأرض حيث تنخفض درجة حرارة الشمس السطحية من 6000 درجة مطلقة الى 3000 درجة مطلقة ويزداد نصف قطرها بحوالي 50 ضعفاً. أما في المنطقة الداخلية (الجوف) حيث ترتفع درجة الحرارة الى حوالي عشرات الملايين من الدرجات المطلقة بسبب الانكماش التجاذبي الذاتي، يبدأ الهيليوم بالاندماج لتكوين الكربون حيث يؤمن ذلك للنجم جولة أخرى فيتمدد مرة أخرى ويظهر كعملاق أحمر من جديد، وفي جوف النجوم العملاقة الأثقل من الشمس بكثير تعاني النجوم مصيراً دراميا، إذ تمر بعدة أطوار من التمدد والتقليص حيث يمكن لتفاعلات نووية اضافية ان تنتج الاكسجين والنيون والمغنيسيوم وعناصر اخرى الى ان تبلغ الوزن الذري للحديد مع انطلاق طاقة هائلة كما في الشكل (3-10).

الشكل (3 - 10) يوضح تركيب نجم عملاق احمر.

وفي بعض أصناف هذه النجوم تختتم مرحلة العمالقة الحمراء بحادث كارثي هو انفجار النوفا أو السوبر نوفا الذي يترافق بتشظي الأقسام الخارجية للنجم.

ويعتقد العلماء انه عند بدء التفاعل النووي للهيليوم فان درجة الحرارة المركزية تزداد بشكل كبير دون ان يتمدد الجوف كثيراً، وبذلك لا يحدث التبريد المطلوب. وبهذا تندمج انوية الهيليوم اسرع فأسرع، ويسخن الجوف اكثر فأكثر، حيث يتصرف غاز الهيليوم في الجوف كغاز منحل (degenerate gas) اي بعكس الغاز المثالي (الذي اذا سخن فانه يتمدد، واذا برد يتقلص) وتدعى هذه العملية بوميض الهيليوم (Helium Flash) ولكن بعد فترة زمنية معقولة من اندماج الهيليوم السريع في الجوف، وارتفاع حرارته الجوفية يحدث تمدد للجوف، ويتم التبريد المطلوب، ويستمر اندماج الهيليوم بمعدل ثابت، وبناءً عليه فان جوف النجم العملاق اصبح يحتوي على كربون واما الهيليوم فيوجد في الاغلفة الخارجية. ومن ناحية اخرى يمكن تمثيل مسار هذه العملية التحولية من نجم تتابع رئيسي الى عملاق احمر على مخطط (H-R) البياني بخط رأسي للأعلى والى اليمين من نقطة اقلاعه عن خط التتابع الرئيسي وتدعى المرحلة التي يتقلص فيها الجوف المركزي ويتمدد فيها الأغلفة الخارجية للنجم بمرحلة او نقطة التحول Turn off point.

10:5 مرحلة النجوم المتغيرة الاضاءة (النابضة) (Variable Stars)

لقد تأكد العلماء ان معظم النجوم تتحول من مرحلة النجم العملاق الى مرحلة النجوم المتغيرة الاضاءة (النابضة) حيث قاسوا التغيرات في اقدارها النجمية (سطوعها) ووجدوا ان التغير في درجة الحرارة لسطح النجم يتبع الى حد قريب التغير في السطوع النجمي. فعندما يكون السطوع اكبر ما يمكن تكون درجة حرارة سطحه ايضاً اكبر ما يمكن. كذلك فان التغيرات في الرتبة الطيفية متوافقة مع التغيرات في درجة حرارة سطح النجم كما نتوقع، بينما التغيرات في السرعة القطرية وفي نصف قطر النجم لا تتفق في الطور بدرجة قليلة مع التغيرات في درجة الحرارة والسطوع وهذا يدل على ان التغير في السطوع الضوئي للنجم يعود الى التغيرات في نصف قطر النجم والى التغيرات في درجة حرارة سطحه. وسبب ذلك يعود الى ان النجم لم يصل الى مرحلة الاتزان الهيدروستاتيكي بين قوة الجاذبية المؤثرة للداخل على الاغلفة الخارجية والضغط الداخلي للغاز نحو الخارج. فلنفرض ان نجماً قد تمدد نتيجة الزيادة في الضغط الداخلي للغاز، فان كثافة المادة الغازية وكذلك الضغط يقل حتى الوصول الى نقطة أبعد من الاتزان الهيدروستاتيكي بسبب زخم التمدد، عندها تتغلب قوى

الجاذبية ويبدأ النجم بالتقلص الى ان يصل الى نقطة ابعد من الاتزان الهيدروستاتيكي المطلوب بسبب زخم المادة المتجمعة للداخل فيكون الضغط عالياً، وتعاود الدورة نفسها من جديد.

ويضيع جزء من الطاقة خلال النبضة الكاملة عن طريق قوى الاحتكاك، وطبيعي ان يؤدي ذلك الى حدوث تخامد للنبضات مع الزمن. مع العلم ان استمرار حدوث النبضات على نفس الوتيرة يعني ان الطاقة الضائعة تعوض بطريقة ما. ويبدو ان معدل انتقال الطاقة من باطن النجم للأغلفة الخارجية يمكن ان تتغير بميكانيكية معينة. ويُعرف العلماء الاوباسيتي (Opacity) (عدم الشفافية) بأنها كمية الطاقة الممتصة من الاشعاعات المنتشرة داخل طبقات النجم، بسبب وجود طبقة ماصة للطاقة في الاغلفة الخارجية للنجم، تعمل كصمام، وتزداد الاوباسيتي في المنطقة الماصة للطاقة بوجود هيليوم أحادي التأين +He والذي يمتص الاشعة الفوق بنفسجية ليصبح هيليوم ثنائي التأين ++He. وعادة تكون مناطق الهيليوم الاحادي التأين أبرد من المناطق المحيطة بها، لاستخدامها الطاقة المتوفرة للتأين بدلاً من تسخين الغاز العادي، ولذلك فان منطقة الهيليوم المتأينة تساهم في عدم استقرار الغلاف النجمي وبذلك تتولد النبضات.

فإذا كانت الاوباسيتي عالية، فإن الاشعاعات لا تستطيع النفاذ، ويظهر النجم خافت السطوع. وإذا كانت الاوباسيتي صغيرة جداً، فإن الاشعاعات تنساب بحرية ويكون الغلاف النجمي شفافاً، ويظهر النجم قوي السطوع. فإذا انضغط النجم في نفس الوقت الذي تكون فيه الاوباسيتي عالية فان الطاقة الاشعاعية الزائدة تمتص. وتؤثر بضغط على الاغلفة الخارجية للنجم. وبهذه العملية تتوفر الطاقة اللازمة لاستمرار النبض النجمي.

وتمثل هذه العملية التطورية في حياة النجم على مخطط (H - R) البياني بمسارات افقية نحو اليسار حيث تصل لمنطقة تقع ما بين العمالقة وخط التتابع الرئيسي وتدعى بمنطقة عدم الاستقرار، حيث تصبح نجوم نابضة بشكل دوري، مثل نجوم السفيد، والليري، والميرا او تصبح نجوم متفجرة (متغيرة الاضاءة ولكن بشكل غير منتظم) مثل نجوم النوفا والسوبرنوفا وغيرها وبناءً على ذلك ربما يحتوي جوف النجم على الكربون الذي قد يتحول الى عناصر اثقل، بينما يوجد الهيليوم في الأغلفة الخارجية. وهناك انواع اخرى من النجوم مثل نجوم

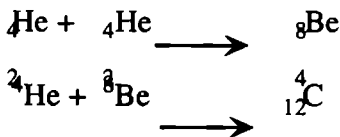
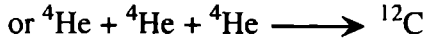
التوري (T-Tauri) لها كتل صغيرة تتراوح ما بين (0.2Mo - 2Mo)، وتدرس تحت اصطلاح النجوم المتغيرة الاضاءة على الرغم انها تعتبر في الحقيقة نجوم اولية ما زالت تنكمش على نفسها، وتنتج طاقة اعتماداً على الجاذبية الذاتية وهي في طريقها للوصول الى خط التتابع الرئيسي، وتكون محاطة بسدم غازية وغبار كوني بقي حولها. وتشع نجوم التوري بحيث يتغير سطوعها مع الزمن ويكون اكبر اشعاع لها في منطقة تحت الاحمر بالاضافة للمناطق الاخرى من الطيف، وهناك نوع آخر من النجوم تدعى بالمتغيرات المغناطيسية، حيث يحدث له تغيرات طيفية ومغناطيسية فتتغير شدة بعض الخطوط الطيفية بشكل دوري تقريباً، ويعتقد العلماء ان السبب في ذلك هو ان المحور المغناطيسي لها يميل على المحور الدوراني (كما في حالة الارض)، فتظهر بقع مغناطيسية كبيرة على سطوحها بشكل دوري من خلال دوران النجوم حول نفسها. مع العلم ان شدة المجال المغناطيسي العظمى على سطح الشمس حوالي 0.4 تسلا، بينما يتراوح شدة المجال المغناطيسي للنجوم الأخرى من 0.01 الى 0.1 تسلا على سطوحها.

6 : 10 مرحلة الموت النهائي للنجم (التقزم) (White Dwarf Stars)

قبل ان يتحدد المصير النهائي للنجم، يجب ان نوضح ان النجوم تمر بمراحل عديدة من الاندماجات النووية، حيث يحدث اندماج الهيدروجين الى الهيليوم في جوف النجم (حيث يكون النجم من نوع التتابع الرئيسي)، وبعد استنفاذ الهيدروجين في الجوف، يتوقف انتاج الطاقة النووية، وتتغلب قوى الجاذبية الذاتية فيتقلص الجوف النجمي، وترتفع حرارته مما يؤدي الى تسريع اندماج الهيدروجين الموجود في الاغلفة الخارجية المحيطة بالجوف على الاندماج لتكوين الهيليوم، وتتمدد الاغلفة الخارجية للنجم (حيث يكون النجم من نوع العملاق الأحمر)، اما في الجوف النجمي فيبدأ اندماج الهيليوم لتكوين انوية البريليوم (الغير مستقرة)، والكربون في حالة النجوم التي تكون كتلتها IMO، كما في المعادلات التالي:

$$ {}^{4}He + {}^{4}He \longrightarrow {}^{8}Be $$

$$ {}^{4}He + {}^{8}Be \longrightarrow {}^{12}C $$

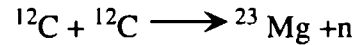
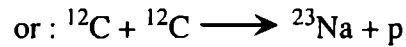
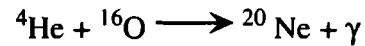
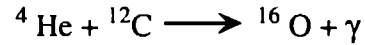
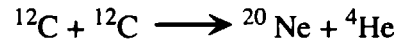
$$or\ ^{4}He + ^{4}He + ^{4}He \longrightarrow ^{12}C$$

اما في حالة النجوم التي تتعدى كتلتها $8M_O$ فان عمليات الاندماج النووي تتوالى لانتاج انوية ثقيلة، فبعد انتهاء وقود الهيليوم في الجوف النجمي، يحدث تقلص جديد للجوف بتأثير القوى الجاذبية الذاتية، وترتفع الحرارة والضغط لدرجة عالية تسمح باندماج الكربون كما في المعادلات التالية:

$$^{12}C + ^{12}C \longrightarrow ^{20}Ne + ^{4}He$$

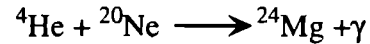
$$^{4}He + ^{12}C \longrightarrow ^{16}O + \gamma$$

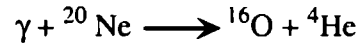
$$^{4}He + ^{16}O \longrightarrow ^{20}Ne + \gamma$$

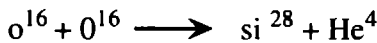
$$or: ^{12}C + ^{12}C \longrightarrow ^{23}Na + p$$

$$^{12}C + ^{12}C \longrightarrow ^{23}Mg + n$$

وبعد انتهاء الكربون في الجوف النجمي، يحدث تقلص للجوف، وترتفع الحرارة والضغط لدرجة أعلى مما كانت عليه سابقاً، بحيث يصبح اندماج النيون ممكناً كما في المعادلات التالية:

$$^{20}Ne + ^{20}Ne \longrightarrow ^{36}Kr + ^{4}He$$

$$^{4}He + ^{20}Ne \longrightarrow ^{24}Mg + \gamma$$

وقد يحدث تحلل لنواة النيون بواسطة فوتونات ذات طاقة عالية حسب المعادلة التالية:

$$\gamma + ^{20}Ne \longrightarrow ^{16}O + ^{4}He$$

وبعد انتهاء وقود النيون في الجوف، يحدث تقلص ذاتي للجوف مرة اخرى، فترتفع حرارته وضغطه لدرجة تسمح باندماج انوية الاكسجين كما في المعادلة التالية:

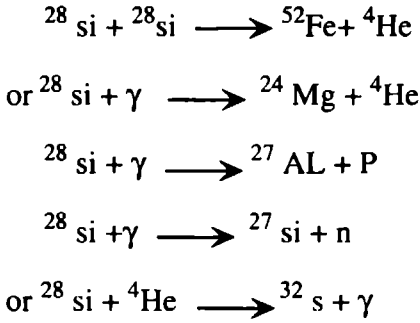
$$o^{16} + 0^{16} \longrightarrow si^{28} + He^{4}$$

وبعد انتهاء الوقود الاكسجيني يحدث تقلص ذاتي اخر، ويصبح اندماج انوية السيليكون ممكناً كما في المعادلات التالية:

$$^{28}si + ^{28}si \longrightarrow ^{52}Fe + ^{4}He$$

$$or\ ^{28}si + \gamma \longrightarrow ^{24}Mg + ^{4}He$$

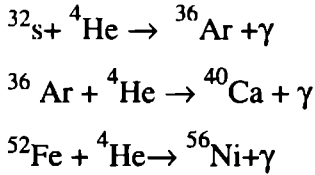
$$^{28}si + \gamma \longrightarrow ^{27}AL + P$$

$$^{28}si + \gamma \longrightarrow ^{27}si + n$$

$$or\ ^{28}si + ^{4}He \longrightarrow ^{32}s + \gamma$$

وقد يحدث تفاعلات اندماجية اخرى عند درجات حرارة اعلى وضغط اعلى كما في المعادلة الآتية:

$$^{32}s + ^{4}He \rightarrow ^{36}Ar + \gamma$$

$$^{36}Ar + ^{4}He \rightarrow ^{40}Ca + \gamma$$

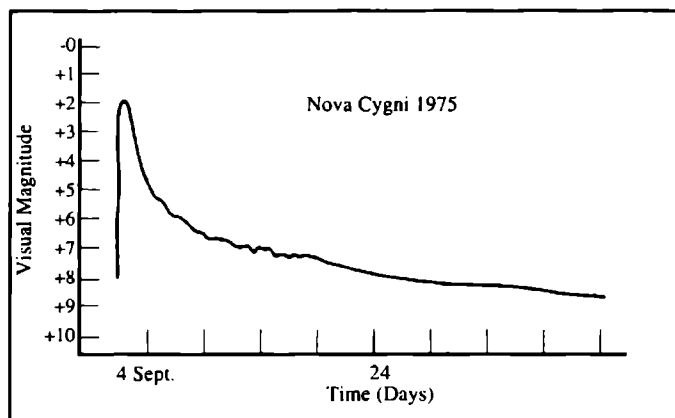
$$^{52}Fe + ^{4}He \rightarrow ^{56}Ni + \gamma$$

وفي حالة نجم كالشمس تبدأ بمرحلة الاندماج النووي الهيدروجيني لتكوني الهيليوم، ويعقب ذلك انهيار تجاذبي ينتج عنه توفر حرارة وضغط عالي في الجوف يسمح باندماج الهيليوم لتكوين انوية الكربون المحاطة بأغلفة من الهيليوم والهيدروجين، ثم يعقب ذلك انهيار تجاذبي جديد، ينتج عنه ارتفاع حرارة الجوف، وتسريع لحدوث اندماج للهيليوم في الغلاف الخارجي المحيط بالجوف. أما حرارة الجوف فغير كافية لاندماج الكربون، ويزداد عند ذلك عدم استقرار النجم وتفلت أقسامه الخارجية في الفضاء الخارجي مكونة سديماً كوكبياً Planetary Nebula في حين تتخلف نواته الداخلية ككرة تعرف باسم القزم الأبيض، وهنا يضطر جوف النجم للتقلص تدريجياً تحت تأثير قوى الجاذبية الذاتية الى ان يحدث الاتزان الهيدرستاتيكي من جديد، حيث تتزن قوة الجاذبية الذاتية مع قوة المقاومة الناشئة عن ضغط الالكترونات المنحلة إذ يتدخل هنا أثر فيزياء الكم وهو فعل باولي في عدم السماح للالكترونات بالتجمع في نقطة واحدة والإبقاء عليها متباعدة عن بعض وبهذا تتمكن من موازنة الجذب

الثقالي الذاتي ويتم هذا شريطة ان تكون كتلة النجم لا تتعدى حداً معيناً يدعى بحد جاندراسكار وهو حوالي $1.4M_O$ فيصبح النجم قزماً ابيض، وفي حالة النجوم الاثقل كتلة من الشمس، فبعد ان ينفذ الوقود النووي في الجوف ويتوقف انتاج الطاقة النووية، يحدث انهيار تجاذبي من جديد ولا يتوقف الا عندما يحدث الاتزان الهيدروستاتيكي مرة اخرى بين قوة الجاذبية وقوة المقاومة الناشئة عن ضغط النيوترونات المنحلة (بفعل مبدأ باولي)، ويحدث هذا الاتزان شريطة ان تكون كتلة النجم اكبر من $1.4M_O$ واقل من $3.4M_O$ وهنا يصبح النجم نجماً نيوترونياً.

وأما اذا كانت كتلة النجم اكبر من 3.4MO، فان الانهيار التجاذبي الناتج بعد توقف جميع التفاعلات الاندماجية في الجوف يستمر الى ان تصبح مكوناته متراصة جداً، ويؤول النجم الى كتلة نووية هامدة في الفضاء ذات مجال تجاذبي كبير جداً تدعى بالثقب الأسود. وسنصف فيما يلي بعض الأحداث العنيفة التي يمر بها النجم وهو في طريقه الى نهايته المحتومة (الموت).

10:7 ظاهرة النوفا (المستعرات العادية) (Nova)

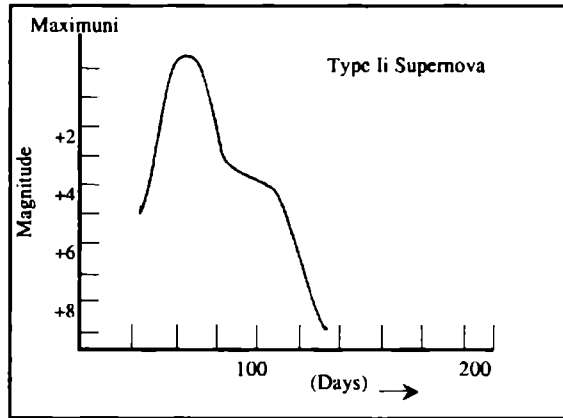
وتعني النجوم المتفجرة الجديدة التي تظهر فجأة، بحيث تكون مصحوبة بزيادة في شدة لمعانها بمقدار عشرة آلاف مرة خلال بضعة أيام، ثم يبقى السطوع ثابتاً لأيام أخرى، ويزداد بمقدار عشرة مرات ثم لا يلبث أن يخبو سطوعه خلال بضعة سنين لاحقة. ولقد دلت الأرصاد الفلكية على أن النجم الخافت الذي انفجر يمر بمرحلة من الضغط الشديد في أطرافه، بحيث يقذف قشرة غازية بسرعة قد تصل إلى 1000 كم/ث مما يؤدي إلى زيادة في السطوع الضوئي بشكل واضح، ولا يؤثر الانفجار على بنية النجم الداخلية، ويدل طيفه الإشعاعي على أنه محاط بغاز ساخن مشع له خطوط امتصاصية منزاحة نحو اللون الأزرق، ناتجة من مناطق الغاز المقذوفة نحونا والتي تم التقاط صور فوتوغرافية لها. وقد يتكرر حدوث النوفا في حياة النجم الذي تكون كتلته أكبر من 1.4 كتلة شمسية مرات عديدة، على فترات تبلغ آلاف السنوات، حيث يفقد نسبة صغيرة من كتلته في كل مرة. ولقد أوضحت الدراسات الفلكية أن معظم النجوم التي مرت بمرحلة النوفا هي في الحقيقة نجوم ثنائية أحدها قزم أبيض. فعندما تسقط المادة الغازية من نجم عادي ساخن ذو رياح شديدة (أو عملاق) على القزم الأبيض،

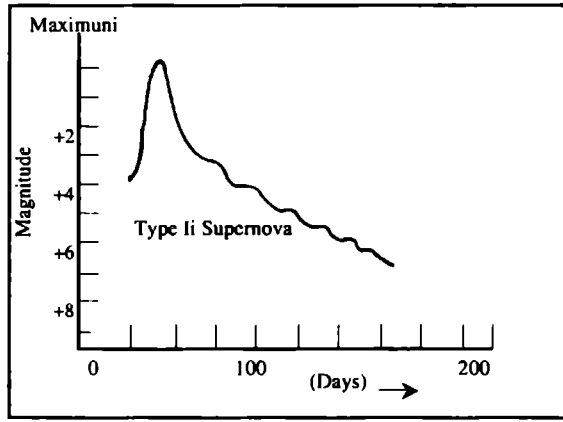
فإنها تنضغط وتسخن وتتوهج وتحدث تفاعلات نووية لفترة قصيرة على سطح القزم الأبيض، مما يسبب الانفجار، ويدعى هذا النوع من التفجرات النجمية العادية بالنمط الأول كما في الشكل (4-10).

الشكل (4-10) يوضح منحنى السطوع للنوفا

10:8 ظاهرة السوبرنوفا (المستعرات العظمى) (Super Nova)

تنتج السوبرنوفا عن انفجار هائل مفاجيء في بعض أنواع النجوم الثقيلة جداً، والتي انتهى وقودها النووي نتيجة التقدم في عمرها، وتدعى عادة بالنمط الثاني للمستعرات العظمى وتتميز أطيافها بوجود خطوط انبعاث قوية للهيدروجين. ويزيد شدة الانفجار في حالة السوبرنوفا عن شدته في حالة النوفا بحوالي عشرة آلاف مرة، حيث يقذف النجم سحابة غازية كبيرة، فيصبح من ألمع نجوم المجرة كما في الشكل (5-10)، ويعتبر هذا الانفجار مدمراً لحياة النجم إذا كان في مرحلة فوق العملاق الأحمر، حيث يفقد معظم كتلته التي تتمزق وتتناثر بالفضاء، نتيجة موجة الرجة الناتجة عن ضغط النيوترينوات للخارج والتي تتكون خلال حدوث التفاعلات النووية السريعة، كما تتكون عناصر أثقل من الحديد خلال مدة الانفجار الأعظم، فيعمل الانفجار على انتشار العناصر الكيماوية المختلفة في وسط بين النجوم. وتظهر سحابة غازية متمددة (كبقايا للسوبرنوفا) تتحرك بسرعة تصل إلى 5000 كم / ث، وقد يترك الانفجار خلفه جسماً معتماً (كالنجم النيوتروني أو البقعة السوداء)، وتكون

معظم طاقة السوبرنوفا في صورة ضوء فوق بنفسجي، بالإضافة إلى أشعة جاما والأشعة السينية والضوء المرئي، ويعتبر سديم السرطان (M1) في كوكبة الثور من بقايا السوبرنوفا التي حدثت عام 1054 م والتي وصل سطوعها الظاهري الى m = -6، حيث تُرى بالتلسكوب البصري كبقعة ضبابية خافتة، وظهر مستعر أعظم آخر عام 1572 م في كوكبة ذات الكرسي (أشار إليه تايكوبراهي في كتاباته)، وكان آخر مستعر ظهر في السماء في سديم ماجلان الكبير عام 1987م.

وتدل الحسابات النظرية على أنّ انفجار السوبرنوفا يحدث في حالة النجوم الثقيلة، عندما ينفذ الوقود النووي في مركزها، ويصبح في معظمه مكوناً من الحديد، فيتوقف ضغط الغاز والإشعاع الذي يقاوم ضغط الجاذبية، وينهار النجم بسبب تغلب قوى الجذب الذاتي وينكمش تدريجياً، وتتحرر طاقة هائلة تؤدي إلى انفجار مدمر للنجم، وقد تتحول المادة في مركزه إلى عناصر أثقل لحظة الانفجار، وتتكون جسيمات عديدة مثل النيوترينوات والنيوترونات والبروتونات وإشعاعات كونية أخرى. وقد يترك وراءه نجم نيوتروني نابض بالأمواج الراديوية خاصة، إذا كانت كتلة النجم أكبر من 3.4 كتلة شمسية لحظة الانفجار، وتحدث انفجارات السوبرنوفا بمعدل مرة واحدة في مجرتنا لكل مئة عام.

الشكل (5-10) يوضح منحنى السطوع للسوبرنوفا (النمط الثاني)

وهناك نوع آخر من السوبرنوفا تدعى بالنمط الأول، وتحدث لنجوم ذات كتلة قريبة من كتلة الشمس، ويعتقد بأنها جزء من نظام ثنائي يحتوي على قزم أبيض، فإذا سقطت عليه مادة من النجم المرافق لتزيد من كتلته فوق حد جاندراسكار فلسوف ينهار على نفسه وينفجر بعنف مكوناً نجماً نيوترونياً ومحرراً طاقة هائلة، ويتميز طيفه بعدم وجود خطوط انبعاث للهيدروجين مما يدل على افتقارها للهيدروجين كما في الشكل (6 -10).

الشكل (6 - 10) يمثل منحنى السطوع لسوبرنوفا من النمط الأول

10:9 نظرية جاندراسكار والأطوار النهائية للنجوم

وضع عالم الفيزياء الفلكي الهندي جاندراسكار نظرية تصف كيفية انهيار النجوم الهرمة تحت تأثير قوى الجاذبية الذاتية وخاصة تلك التي استهلكت وقودها النووي تماماً، وتكدس على شكل عناصر ثقيلة كالحديد مثلاً، حيث تتصرف المادة اعتماداً على التركيب النجمي، والذي يعتمد بدوره على الاتزان الهيدروستاتيكي وطبيعة المادة النجمية. ففي الظروف العادية يكون لدى ذرات الغاز بداخل نجم تتابع رئيسي فراغ كبير، تتوزع فيه الإلكترونات في مستويات طاقة محددة. وتملأ هذه المستويات بالتدريج من الادنى للاعلى بحيث يكون في كل منها الكترونان لهما نفس الخصائص الكمية، ما عدا أن اتجاه الرقم المغزلي لكل منهما يعاكس الآخر، وذلك حسب مبدأ الاستبعاد لباولي (فيزياء الكم)، ويعتمد متوسط طاقتها الحركية وكذلك ضغط ذرات الغاز على درجة حرارة الغاز، وعند انتهاء الوقود النووي يتوقف

ضغط الاشعاع والغاز الساخن، وتتغلب قوى الجاذبية، فينكمش النجم على نفسه تدريجياً، وتقترب الذرات من بعضها البعض وتتراص حتى لا يتوفر فراغ مناسب لمدارات الالكترونات حول النواة كالعادة وتقل قيم السرعات، ومن ثم قيم الطاقات المسموح بها للاكترونات في مداراتها. وتدعى المادة في هذه الحالة بالغاز الإلكتروني المنحل (Degenerat Electoon Gas)، حيث تتوزع الالكترونات في الفراغات المحيطة بالأنوية بانتظام، وكذلك تترتب الأنوية كما في البلورات الصلبة، وتزداد القيود على حركتها، كلما ازداد الضغط المؤثر الخارجي عليها إلى أن تثبت في مواقعها، ونتيجة للانهيار التجاذبي تزداد الكثافة تدريجياً، إلى أن يتوقف الانكماش عندما يتساوى ضغط غاز الالكترونات المنحلة (المتجه للخارج)، مع ضغط قوة الجاذبية (للداخل)، ولا يتم ذلك إلاّ إذا كانت كتلة النجم المنهار أقل من 1.4 كتلة شمسية ويدعى هذا الشرط بغاية جاندراسكار على الكتلة، حيث تستقر أوضاع النجم الديناميكية وتدعى عندها بالنجوم القزمة البيضاء (White Dwarf Stars)، وقد وجد العالم جاندراسكار أنه كلما كانت كتلة القزم الأبيض كبيرة، كلما تقلص حجمه كثيراً، وذلك على العكس من نجوم التتابع الرئيسي. وقام بوضع علاقة تربط ما بين الكتلة ونصف القطر للقزم الأبيض على النحو التالي:

$$R = \text{ثابت}\ (M^{\frac{-1}{3}})$$

حيث (M) تعبر عن كتلة النجم المنهار، و (R) نصف قطره المنهار.

وبناءاً على ذلك فإن القزم الأبيض الذي تبلغ كتلته 0.8 كتلة شمسية يتقلص إلى 0.01 نصف قطر شمسي، أما القزم الأبيض الذي تبلغ كتلته 1.2 كتلة شمسية يتقلص إلى 0.005 نصف قطر شمسي، كما أن اكبر كتلة تبلغها هذه النجوم هي 1.4 كتلة شمسية، حيث يصبح حجم النجم حجماً محدداً يقارب الصفر.

وتعطى معادلة الحالة لغاز منحل كلياً وذو طاقات عادية، (ضمن الميكانيكا غير النسبية) بالعلاقة:

$$p = k\rho^{\frac{5}{3}}$$

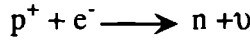
حيث (p) يعبر عن الضغط و (k) ثابت و (ρ) كثافة الغاز.

بينما يقاس ضغط الغاز المنحل ذو الطاقات العالية حسب الميكانيكا النسبية بالعلاقة:

$$p = k\rho^{\frac{4}{3}}$$

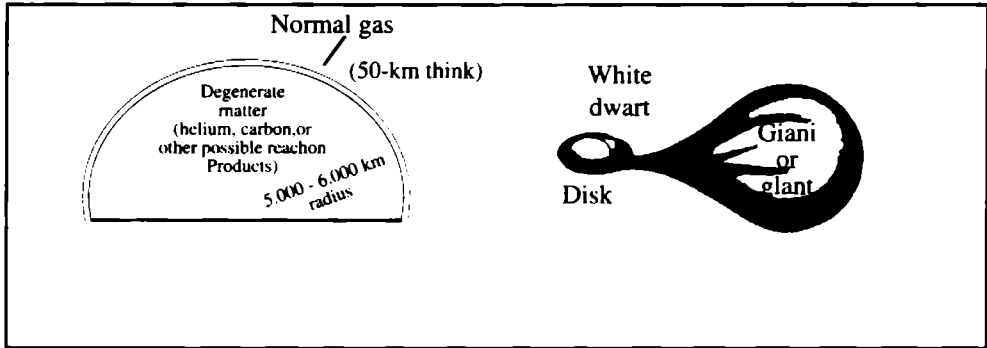
أما معادلة الغاز المثالي فهي: $p=k\rho T$

حيث (T) درجة الحرارة المطلقة للغاز، وأما بالنسبة للنجوم المنهارة التي تكون كتلتها النهائية أكبر من 1.4 كتلة شمسية فإن الانكماش والانهيار التجاذبي يستمر فيها، لأن ضغط غاز الالكترونات المنحل لا يستطيع مقاومة ضغط الجاذبية، وعندها تتحد الالكترونات السائبة بين الأنوية، وتلتحم مع البروتونات الموجبة في باطن النجم، فتتحول إلى نيوترونات ونيوترينوات كما في المعادلة التالية

$$p^{+} + e^{-} \longrightarrow n + \upsilon$$

نيوترينو + نيوترون ⟵ إلكترون + بروتون

وتزداد الكثافة النجمية تدريجياً إلى أن تصل حوالي 10^{17} كغم / م3، عندها فإن غاز النيوترونات سيخضع لقوانين فيزياء الكم، ويصبح منحلاً، حيث يوفر غاز النيوترونات المنحل ضغطاً داخلياً لتكوين نجماً نيوترونياً مستقراً، وبذلك فإن النجوم النيوترونية ذات الكتلة الكبيرة تتقلص إلى حجوم صغيرة، مع العلم بأن اكبر كتلة تصلها هذه النجوم هي حوالي 3.4 كتلة شمسية. أما إذا كانت كتلة أحد النجوم المنهارة أكثر من 3.4 كتلة شمسية، فإن عمليات الانكماش والتكدس للمادة النجمية تحت تأثير قوة الجاذبية الذاتية، تستمر بدون هوادة. وتسحق المادة النجمية، ويصغر حجم النجم تدريجياً إلى أن يصبح صفراً، وتصبح الكثافة كمية هائلة غير معرّفة وتزداد عجلة الجاذبية على سطحها لدرجة هائلة، بحيث أن الضوء لا يستطيع الإفلات من قوة جاذبيتها ويصبح معتماً ويطلق عليه اسم الثقب الأسود Black Hole.

10:10 الخصائص الأساسية للنجوم القزمة (White Dwarf Stars)

وهي نجوم ذات نورانية قليلة، وتبدو بيضاء اللون، ولذلك تعرف بالأقزام البيضاء، وقد تُرى بالعين المجردة أو بالتلسكوبات كما في الشكل (7-10)، والتي تكون عادة جزءاً من أنظمة نجمية ثنائية، وربما تتكون كيميائياً من الهيليوم أو الكربون، خاصة إذا كان تفاعل ألفا الثلاثي يشكل المرحلة الأخيرة من التفاعلات الاندماجية النووية التي حدثت قبل موت النجم.

الشكل (7-10) يمثل تركيب قزم أبيض

وكما ذكرنا سابقاً، فإن استقرار هذه النجوم الديناميكي يعتمد على ضغط غاز الالكترونات المنحلة، الذي يقاوم ضغط الجاذبية، لذلك لا يمكن للنجم أن ينكمش أكثر، ولا يكون له دخل من طاقة الانكماش التجاذبي، ولا يمتلك مصدراً للطاقة النووية، لذلك فإن الأقزام البيضاء يمكنها فقط أن تشع طاقتها الحرارية إلى الخارج، ويصبح النجم عندئذ أبرد وأبرد. حتى يصل إلى حالة الموت التام، حيث يدعى عندها بالقزم الأسود Black Dwarf، وقد تستغرق هذه العملية بلايين السنوات، وقد يخطر على بالنا سؤال وهو ما الذي يحدث للنجوم التي لها كتل أكبر من 1.4 كتلة شمسية إذا كانت ستصبح أقزاماً بيضاء؟ المفروض أن تفقد جزءاً من كتلتها وقد يتم ذلك عن طريق التدفق المنتظم للغاز (مثل الرياح الشمسية) مما يؤدي إلى سرعة تطورها. وإذا كان النجم يشترك بنظام ثنائي فقد تنتقل المادة النجمية مع الرياح النجمية إلى النجم المرافق والذي يكون أحياناً غير مرئي (كالقزم الأبيض أو النجم

النيوتروني) فتغير من كتلته، ويزيد من سرعة تطوره. ومن الأمثلة على النجوم القزمة البيضاء نجم الشعرى اليمانية بـ (Sirius B) الذي شوهد عام 1862م، بواسطة العالم الأمريكي الفن كلارك وأهم الخصائص الأساسية للنجوم القزمة البيضاء ما يلي:

متوسط الكتلة: 0.7 كتلة شمسية

متوسط النورانية:	0.003 من نورانية الشمس
متوسط درجة حرارة سطحه:	30000 درجة كلفن
متوسط نصف القطر:	0.013 نصف قطر شمسي
متوسط الكثافة :	10^{8} كغم / م^{3}

التركيب البنائي: يتكون القزم الأبيض من الكترونات منحلة تتحرك في الفراغات القليلة الموجودة بين أنوية الكربون الموجبة والموزعة على شكل شبكة بلورية يحيط بها غلاف غازي جوي، يعمل كعازل حراري غير منفذ للاشعاعات، ويبلغ سمكه حوالي 50 كم.

مجال الجاذبية: قوي جداً مما يؤثر على اشعاعاته الضوئية مسبباً انزياح طيفي ثقالي، مما يشكل اختباراً مناسباً للنظرية النسبية العامة لأينشتاين التي تنبأت بوجوده.

المجال المغناطيسي: عالي نسبياً بالمقارنة مع نجم التتابع الرئيسي.

الضغط الجوي: عالي نسبياً بالمقارنة مع نجم التتابع الرئيسي.

الصورة الطيفية: يكون طيفه متصلاً، يتخلله خطوط امتصاص عريضة نوعاً ما، وقد تعود هذه الخطوط إلى عناصر الهيدروجين أو الهيليوم في منطقة بالمر، وتصنف عادةً حسب الرتبة الطيفية (DA) أو (DB) حيث يدل حرف (D) على النجوم القزمة أما حرف (A) فيدل على وجود خطوط طيفية قوية للهيدروجين.

أما أسباب الزيادة في سمك الخطوط الطيفية للنجوم القزمة فهي:

أ) قلة العناصر الكيماوية الموجودة، ومحدودية نسب توافرها.

ب) الضغط الجوي العالي على سطحه.

ج) كثرة عدد التصادمات بين الأنوية، مما يجعل مستويات الطاقة سميكة نوعاً ما، مما يؤدي بدوره الى زيادة سمك الخطوط الطيفية.

د) وجود مجال مغناطيسي قوي، بسبب صغر حجمه نتيجة الانكماش الثقالي، مما يؤدي إلى تقارب خطوب المجال المغناطيسي ووجود ظاهرة زايمان، وهي انقسام بعض الخطوط الطيفية إلى عدة خطوط طيفية متقاربة مما يجعل الخط الطيفي يظهر سميكاً، مع العلم بأن الأقزام البيضاء تمتلك مجالات مغناطيسية قوية على سطوحها تتزاوح بين 100 تسلا إلى 10^4 تسلا.

ويعتقد العلماء أن مبدأ حفظ كمية التدفق المغناطيسي يفسر الزيادة في مجاله المغناطيسي حيث تتناسب شدة مجاله المغناطيسي عكسياً مع مربع نصف قطره، وتستخدم العلاقة التالية لحساب شدة مجاله المغناطيسي (B_{wd}) بدلالة شدة المجال المغناطيسي للشمس:

$$B_{wd} = \left(\frac{R\Theta}{R_{wd}}\right)^2 B_{\Theta}$$

هـ) الانزياح الطيفي الثقالي نحو اللون الأحمر Gravitational Red Shift

تنبأ النظرية النسبية العامة لاينشتاين، بأن الضوء عندما ينتقل من مجال جاذبية قوي إلى مجال جاذبية ضعيف يجب أن يبذل شغلاً، ولذلك يقل تردده ويزداد طوله الموجي، بينما تبقي سرعته ثابتة. حيث تعطى كتلة الفوتونات المكافئة بالعلاقة ($E=mC^2$) ولهذا تتأثر بمجال الجاذبية وتعطى طاقتها بالعلاقة ($E=h\upsilon=hc/\lambda$) أي أن الفوتونات تخسر من طاقتها ويدعى ذلك بالانزياح الثقالي للضوء نحو الأحمر، حيث أن الجسم المادي العادي في مثل هذه الحالة يتوقع له أن يكتسب طاقة وضع ويخسر من طاقته الحركية ولذلك يبطىء في حركته، ومن المتوقع عند مرور الضوء بالقرب من جسم مادي كبير الكتلة، فإنه سينحرف عن مساره المستقيم كما في الشكل (8–10)، حيث تتنبأ النظرية النسبية العامة بانزياح في موضع النجم الذي يمر ضوءه بمحاذاة الشمس بحوالي درجة وثلاث وأربعون دقيقة قوسية، ولقد ثبت صحة ذلك عملياً. ويعتمد الانزياح الطيقي الثقالي لنجم ما على النسبة بين كتلته إلى نصف قطره. ويعطى الانزياح الثقالي حسب نظرية نيوتن الكلاسيكية بالعلاقة:

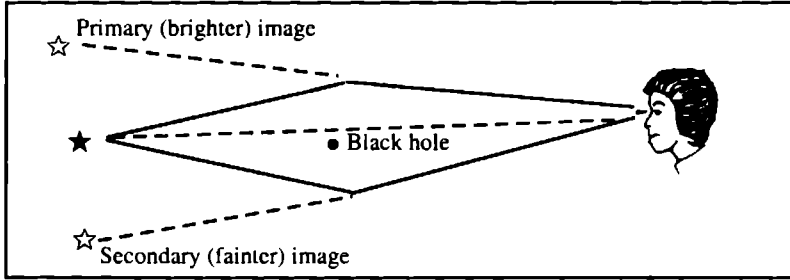
$$\frac{\Delta\upsilon}{\upsilon_i} = -\frac{\Gamma M}{c^2 R}$$

حـيث (υ) تردد الضـوء الطـيفي (M) كـتلة النجم بالكغم، (R) نصف قطره بالمتـر، (c) سرعة الضوء بالمتر / ثانية (G) ثابت الجاذبية العام (نيوتن متر ^{2} / كغم^2)، وفي حالة وجود مجـال جاذبية قوي جداً يفضل استخدام قوانين النسبية العامة حيث يعطى الانزياح الثقالي بالعلاقة

$$\frac{\Delta\upsilon}{\upsilon_i} = -\frac{2GM}{c^2R}$$

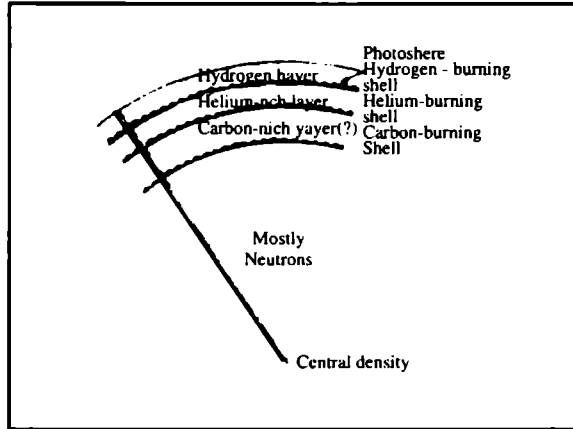
أو

$$\frac{\upsilon f}{\upsilon_i} = 1 - \frac{2GM}{c^2R}$$

و - الانزياح الدويلري الناتج عن حـركـة النجم في السـمـاء باتجـاه خط البصـر، حـيث ينزاح الخط الطيفي نحو الأحمر إذا كان النجم يبتعد عنا.

الشكل (10-8) يوضح انحراف الضوء عن مساره بالقرب من بقعة سوداء

10:11 الخصائص الأساسية للنجوم النيوترونية

وهي نجوم هامدة لا ترى بالعين المجردة مباشرة، ولكن قد يستدل على وجودها باستعمال التسكوبات الراديوية، حيث تكون مصدراً لنبضـات راديوية في بعض الأحيان وتدعى عندها بالبلسارات كما في الشكل (10-9)، وفي أحيان أخرى تكون مصدراً للأشعة السينية، وتعتبر النجوم النيوترونية بقايا لمخلفات نجمية منهارة تحت تأثير قوى الجذب الذاتي بعد توقف كافة أشكال التـفـاعلات الاندمـاجيـة النووية، حـيث ينعـدم اتزانهـا الدينامـيكي لعـدم وجـود ضـغط

إشعاعي للخارج لمقاومة قوى الجذب فتنهار المادة النجمية على بعضها للداخل، وتتراص الأنوية وتضمحل الفراغات ما بين الأنوية والالكترونات التي تدور حولها ولا تستطيع الالكترونات المنحلة (التي تصبح المسافات فيما بينها أصغر أو تساوي طول موجة ديبرولي الخاصة بها) في هذه الحالة من مقاومة ضغط الجاذبية للداخل، خاصة إذا كانت كتلة النجم المنهارة تتراوح بين 1.4 كتلة شمسية إلى أقل من 3.4 كتلة شمسية، عندها تتحد الالكترونات السالبة مع البروتونات الموجبة الموجودة في الأنوية حيث تتعادل المادة النجمية مكونة مادة نيوترونية منحلة (البعد بين أي نيوترونين أقل أو يساوي طول موجة ريبرولي الخاصة بها) وتتقيد حركتها نسبياً. ويصبح ضغط غاز النيوترونات المنحلة أكبر من ضغط غاز الالكترونات المنحلة، وبذلك يتوفر الاتزان الديناميكي لمثل هذه البقايا النجمية عندما تأخذ النيوترونات على عاتقها مقاومة ضغط الجاذبية.

الشكل (9-10) يوضح تركيب نجم نيوتروني

ولقد حدد العلماء أهم الخصائص الأساسية للنجوم النيوترونية وهي:

الكتلة : 1.4 كتلة شمسية إلى أقل من 3.4 كتلة شمسية.

نصف القطر : 10 كم إلى 20 كم (حيث يعتمد على كتلته).

الكثافة : 10^{17} كغم / م^2

التركيب البنائي: ربما يكون تركيبه أكثر تعقيداً من القزم الأبيض.

فالطبقة الداخلية وهي أكثر سمكاً تتكون من غاز النيوترونات المنحلة وبكثافة عالية (وكأنها في الحالة السائلة)، أما المنطقة الوسطى فتتكون من خليط من النيوترونات (فائقة السيولة) وأنوية أخرى غنية بالنيوترونات حيث تكون مرتبة علي شكل شبكة بلورية صلبة، بينما الطبقة الخارجية فهي غلاف غازي رقيق لا يتجاوز سمكه بضعة أمتار، وقد تتكون من ذرات الحديد وبعض الالكترونات والهيدروجين.

مجال الجاذبية : كبير جداً على سطحه ويبلغ حوالي 10^{11} ضعفاً من شدة الجاذبية على سطح الأرض، مما ينتج عنه زيادة سرعة الإفلات فتصل حوالي (0.8C) ومن الطبيعي أن الانزياح نحو الأحمر الثقالي للنجم النيوتروني يكون كبيراً.

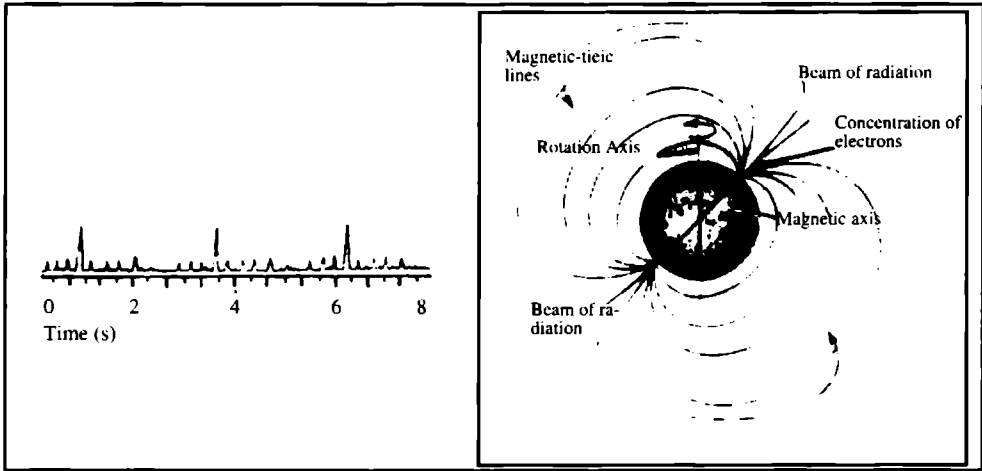
درجة حرارة سطحه: يُعتقد بأن درجة حرارته الداخلية عالية جداً تصل إلى عشرات الألوف من الدرجات المطلقة، وعلى الرغم من ذلك، فإن نورانيته قليلة؛ لصغر مساحة سطحه الخارجي، ولذلك لا يرى بالعين المجردة كالقزم الأبيض.

مجاله المغناطيسي: تمتلك بعض النجوم النيوترونية مجالات مغناطيسية عالية الشدة، تصل إلى 10^8 تسلا، حيث تدعى المنطقة المحيطة بالنجم النيوتروني (والتي يتواجد بها المجال المغناطيسي، ويؤثر على حركة الجسيمات المشحونة التي تمر بها) بطبقة المغنيتوسفير.

10:12 البلسارات النابضة Pulsars

وهي نجوم نيوترونية تدور حول نفسها بسرعة معينة ولا ينطبق محورها المغناطيسي على محورها الدوراني (كما في بعض الكواكب) ونتيجة لدوران البلسار حول نفسه فإن خطوط المجال المغناطيسي القوي تدور معه، وتولد مجالاً كهربائياً عالي الشدة على سطحه، فيعمل على سحب الالكترونات من القشرة الخارجية للبلسار وتتحرك حول خطوط المجال المغناطيسي بشكل لولبي حسب قاعدة لورنتز في المغناطيسية ($\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$) فتكسبها تسارعاً، ثم تفقد جزءاً من طاقتها الحركية على شكل اشعاعات كهرومغناطيسية تدعى بالإشعاع السنكروتروني (حسب نظرية ماكسويل) كما في الشكل (10 - 10)، ويصدر هذا الاشعاع عادة في حزمة مخروطية ضيقة حول أحد خطوط المجال المغناطيسي، وإذا تقاطعت هذه الأشعة مع الأرض، فإننا نستطيع قياسها على شكل ومضات راديوية سريعة ذات زمن

دوري قصير جداً وربما يعتمد الزمن الدوري لهذه النبضات على زمن دورانه حول نفسه وعلى مساحة المنطقة الباعثة للإشعاعات.

وتتراوح أزمانها الدورية ما بين 1.6 مللي ثانية إلى حوالي 4 ثواني، ولقد وجد العلماء أن الزمن الدوري للنبضات يطول ويزداد مع مرور الزمن، بمعدل 10^{-8} ثانية / سنة (مع تقدم عمر البلسار) مما يؤكد أنها تتباطأ أثناء دورانها حول نفسها، ربما نتيجة لعزم مضاد ناشيء عن جسيمات مشحونة متسارعة في مجاله المغناطيسي.

الشكل (10 - 10) يوضح إشعاع البلسار

ولقد تم حتى الآن معرفة حوالي 300 بلسار، ومن الأمثلة عليها البلسار الموجود في سديم السرطان والذي يعرف بالرمز (PSR 0531 + 21) حيث يدل (PSR على كلمة بلسار (نابض) أما الأرقام المعطاه فتدل على موقعه في السماء حسب نظام الاحداثيات الاستوائية. فالرقم الأول (0531) يدل أن خط المطلع المستقيم له هو ($05^h\ 31^m\ 00^s$) ويعني الرقم الثاني (+21) إن زاوية ميله عن خط الاستواء هي (21^0) شمال خط الاستواء ويقوم البلسار بإصدار نبضات كهرومغناطيسية تغطي مجالاً واسعاً من الأطوال الموجبة للضوء، (وتشمل الأشعة تحت الحمراء والراديوية والمرئية والسينية وأشعة جاما). ويعتقد العلماء أنه ينبض بمعدل 30 دورة / ثانية ولذلك صمم الفلكيون أجهزة خاصة لقياس هذه الأزمنة الدورية الصغيرة، وتقدر

نورانيته بحوالي 10^{28} واط (على مختلف النبضات). ويبلغ قدره الظاهري حوالي (15+) وتكون اشعاعاته مستقطبة خطياً وباتجاه عمودي على خطوط المجال المغناطيسي، ومن الطبيعي عندما تنتشر الأشعاعات الكهرومغناطيسية في وسط مغناطيسي متأين (كوسط ما بين النجوم) فإن مستوى الاستقطاب يدور بزاوية معينة (دوران فارادي) وتعتمد قيمته على كل من متوسط كثافة الالكترونات الحرة المنتشرة في طريقها، ومتوسط شدة المجال المغناطيسي، ومربع طول موجة الإشعاع، وعلى المسافة المقطوعة. فلو تم قياس زاوية دوران مستوى الاستقطاب كدالة لطول الموجة نحصل على قيمة تعبر عن حاصل ضرب (الكثافة الالكترونية الحرة x شدة المجال المغناطيسي) على امتداد خط إبصارنا للبلسار. وتقاس الكثافة الالكترونية الحرة من خلال قياس تشتت السرعة (Velocity Dispersion) في وسط ما بين النجوم. ولقد وجد الفلكيون أن جميع الاشعاعات ذات الأطوال الموجبة المختلفة، تتولد معاً في البلسار إلا أنها تتأخر عن بعضها في الوصول إلى محطة الرصد الراديوي على الأرض حيث تصل الأمواج القصيرة قبل الأمواج الطويلة، ومن هنا يستخدم زمن التأخير لقياس أبعاد البلسارات ولدراسة خواص وسط ما بين النجوم.

كما ويستطيع الفلكي أن يحدد عمر البلسار من خلال معرفة الزمن الدوري للنبضات (P) ومعرفة معدل الزيادة في أزمانها الدورية $(\frac{dp}{dt})$ باستعمال العلاقة:

$$(t = p / (dp / dt)$$

فمثلاً يبعث بلسار سديم السرطان نبضات راديوية زمنها الدوري 0.03 ثانية، حيث يزداد الزمن مع مرور الزمن بمعدل 4×10^{-13} ثانية لكل ثانية من عمر البلسار، فباستعمال العلاقة السابقة نجد أن عمر البلسار يبلغ حوالي 2380 سنة.

ويمكن حساب الزمن الدوري للنبضات الراديوية الصادرة من البلسار كونها تعتمد على دورانه حول نفسه، حيث يكون التسرع المركزي لوحدة الكتل من مادته أقل أو يساوي تسارع الجاذبية الذاتية على سطحه أي أن

$$\frac{v^2}{R} = \frac{GM}{R^2}$$

حيث تمثل (V) سرعة الدوران، (R) نصف قطر البلسار، (M) كتلته وباستخدام العلاقة المعروفة لحساب زمن الدورة الواحدة (p).

$$p = \frac{2\pi R}{v}$$

وبالتعويض عن الكتلة بالعلاقة $M = \frac{4}{3}\pi R^3\rho$

حيث (ρ) كثافة البلسار فنحصل على العلاقة التالية

$$P = \frac{2\pi R^{3/2}}{\left(\frac{4}{3}G\pi \rho R^3\right)^{1/2}} = \frac{3.8 \times 10^5}{\sqrt{\rho}} \text{ sec}$$

أما بالنسبة لحل مشكلة الطاقة التي يحصل عليها بلسار سديم السرطان، فهناك تفسير واحد وهو أن البلسار نجم نيوتروني كروي الشكل منتظم الكثافة يدور حول نفسه بسرعة محددة وله طاقة حركية دورانية، وعلى فرض تحول طاقته الدورانية إلى طاقة إشعاعية تنبعث على هيئة أمواج كهرومغناطيسية فحسب قانون حفظ الطاقة ينتج أن

$$\frac{dE_{rot}}{dt} + \frac{dE_{rad}}{dt} = 0$$

$$E_{rot} = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{2}{5}MR^2\right)\left(\frac{2\pi}{P}\right)^2$$

حيث (I) عزم القصور الذاتي لكرة مصمتة، (ω) السرعة الزاوية للدوران، (p) زمن الدورة الواحدة.

كذلك فإن النورانية (L) تعطى بالعلاقة:

$$L = \frac{dE_{rad}}{dt} = \frac{8}{5} \pi^2 MR^2 P^{-3} \left(\frac{dp}{dt}\right)$$

أو

$$\frac{dp}{dt} = \left(\frac{5}{8\pi^2}\right) \left(\frac{LP^3}{MR^2}\right)$$

حيث تشير المعادلة الأخيرة إلى أن معدل النبضات يجب أن يتباطأ كلما فقد البلسار جزءاً من طاقته.

13: 10 الخصائص الأساسية للبقع السوداء (Black Holes)

وهي نجوم ثقيلة جداً (كتلتها اكبر من 3.4 كتلة شمسية) نفذ مخزونها النووي تماماً، وانهارت تحت تأثير قوى الجذب الذاتي، حيث تغلبت قوى الجاذبية على جميع القوى الأخرى الموجودة. وتمر بكثافات شبيهة بكثافة القزم الأبيض وكثافة النجم النيوتروني حيث تُسحق الذرات وتتراص بشكل كبير جداً بحيث لا تستطيع النيوترونات مقاومة ضغط الجاذبية الناتج، فيتابع النجم تقلصه تدريجياً حتى يبلغ حالة من الانهيار يستحيل فيها توقفه عن التقلص، في تلك الحالة يتمكن الضوء من الإفلات بصعوبة، حتى يصل إلى الحالة الحرجة وهي النقطة التي يزداد فيها مجال الجاذبية لدرجة كبيرة جداً، إلى حد أن الضوء ذاته لا يستطيع الافلات من سطح البقعة السوداء، ويدعى نصف قطرها الجذبي الحرج عندئذ بنصف قطر شوارز جايلد Schwarz Child Radius الذي حل بعضاً من معادلات النظرية النسبية العامة لأينشتاين بصورة نظرية، وتنبأ بهذا النوع من الانهيار التجاذبي للنجوم الثقيلة منذ عام 1915م حيث يدخل النجم في ما يمكن تسميته (بالمنطقة المحرمة) وهي التي لا يمكن أن يخرج منها أي شيء وتدعى بالبقعة السوداء Black Hole.

إن النظرية النسبية العامة لأينشتاين، تتنبأ بأن الضوء قابل للانجذاب من الجسم الثقيل وأنه يفقد طاقة عندما يتحرك في مجال جاذبية قوي، ويأخذ الفقدان في الطاقة شكل الزيادة في طوله الموجي (أي الزحزحة الطيفية الثقالية الحمراء) على غرار ظاهرة دوبلر الناتجة عن ابتعاد النجوم والمجرات عنا. وهذا ما يحدث بالضبط عند محاولة الضوء الخروج من البقعة السوداء بسرعة افلات محددة.

وتعطى سرعة الافلات لأي جسم بالعلاقة $v_{esc} = \sqrt{\frac{2Gm}{R}}$

وبما أنه لا يوجد جسم يتحرك بسرعة أعلى من سرعة الضوء فإن أقصى قيمة لسرعة الافلات هي سرعة الضوء (c) وعليه فإن المعادلة التي تصف نصف قطر البقعة السوداء تعطى من العلاقة السابقة على الصورة التالية:

$$R = \frac{2GM}{c^2}$$

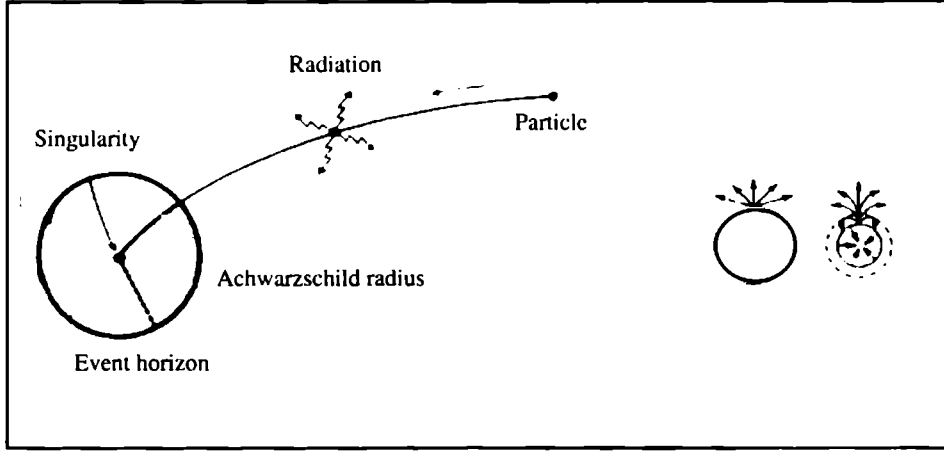
حيث (R) يمثل نصف القطر الجذبي لشوارز جايلد (أي المسافة بين مركز البقعة السوداء والنقطة التي تصبح فيها سرعة الافلات مساوية لسرعة الضوء بالضبط) حيث:

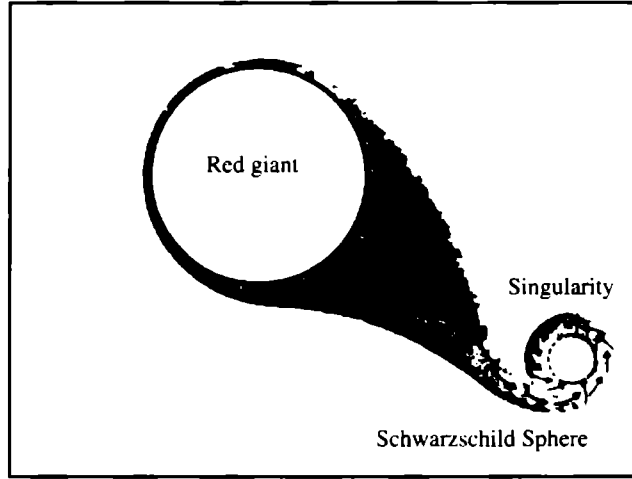
(M) كتلة النجم و (G) ثابت الجاذبية العام و (C) سرعة الضوء.

فلو فرضنا نجماً كتلته تعادل كتلة الشمس يُعطى نصف قطر شوارز جايلد كما يلي:

$$R = \frac{2(6.672x10^{11})\ (1.98x10^{30}Kg)}{(3x10^{8}\ m/sec)^{2}} = 3x10^{3}\ m = 3\ Km$$

ويشكل عام فإن نصف قطر الجذب الحرج يعطى بالعلاقة R = 3M

حيث (M) تعبر عن كتلة النجم المنهار بدلالة كتلة الشمس و (R) تقاس بوحدة الكيلومتر، لذلك فإنه إذا وقع أي جسم (الكترون، مركبة فضائية) ضمن حدود نصف قطر شوارز فلا يمكنه الخروج أو مشاهدته مطلقاً. لهذا السبب يطلق أحياناً على هذه الحدود بأفق الحدث Event Horizon، حيث يحدث تركيز للمادة في نقطة منعزلة في الفضاء حيث يؤول الحجم إلى الصفر والكثافة إلي المالانهاية تدعى هذه النقطة بنقطة الغموض (Singularity Point) كما في الشكل (10-11)

الشكل (10-11) يوضح افق الحدث لبقعة سوداء

وأخيراً فإن البقع السوداء ووجودها ما هي إلا دراسات نظرية لحد الآن، ولم يثبت وجودها عملياً بواسطة الأرصاد الفلكية، ويمكن التنقيب عن الفجوات السوداء من خلال تأثيرها التجاذبي على النجوم القريبة منها في الكون، كما هو الحال في النجوم الثنائية (نجم ابسيلون المتغير "ممسك الأعنة") حيث اكتشف العلماء أنه ثنائي، وينكسف كسوفاً غير عادي (مرة كل 27 سنة) ويدوم كسوفه حوالي 700 يوما أما رفيقه الضعيف الذي يسبب الكسوف فهو لم يشاهد أبداً ولا تنبعث منه سوى إشعاعات تحت الحمراء، ولذلك يعتقد العلماء أنه بقعة سوداء. وقد تكون الأنظمة الثنائية التي تحوي بقع سوداء مصدراً للأشعة السينية، كما هو الحال في رفيق النجم العملاق الموجود في كوكبة الدجاجة، حيث وجد العلماء أنه مصدر مهم للأشعة السينية. وتصدر الأشعة السينية في حالة نظام ثنائي (عملاق أعظم وبقعة سوداء) عندما يفقد النجم العملاق جزءاً من مادته التي تنجذب إلى البقعة السوداء (أو عن طريق الرياح النجمية)، فتنضغط المادة الغازية بداخل البقعة السوداء وتسخن وتتوهج وتصدر أشعة سينية قوية كما في الشكل (10-12).

الشكل (12-10) يوضح نظام ثنائي (بقعة سوداء وعملاق أعظم)

أسئلة الفصل العاشر

1 – على ماذا يعتمد تطور النجوم من حالة لأخرى، وهل هناك عوامل تُسارع في تطورها؟

2 – ما هي المراحل التي نتوقع ان تمر بها الشمس أثناء تطورها؟

3 – عرّف النوفا، وما سبب حدوثها في النجوم بشكل عام؟

4 – عرّف السوبرنوفا وبكم طريقة يمكن ان تحدث بشكل عام؟

5 – ما المرحلة التطورية للنجوم المسؤولة عن تصنيع عنصر الحديد في داخل النجوم؟

6 – كيف تُميز النجم العملاق الأحمر من النجوم القزمة البيضاء؟

7 – ما هي الطرق المستخدمة للبحث عن كل من: الثقوب السوداء، النجوم النيوترونية؟

8 – احسب نصف قطر شوارتز جايلد الحرج لنجم كتلته عند لحظة انهياره 5M؟

9 – ماذا يحدث للنواة النجمية بعد انتهاء تحول الهيدروجين الى هيليوم؟

10 – اذكر الخصائص الاساسية العامة النجم النيوتروني؟

11 – ما هي اسباب زيادة سمك الخطوط الطيفية للنجوم القزمة البيضاء؟

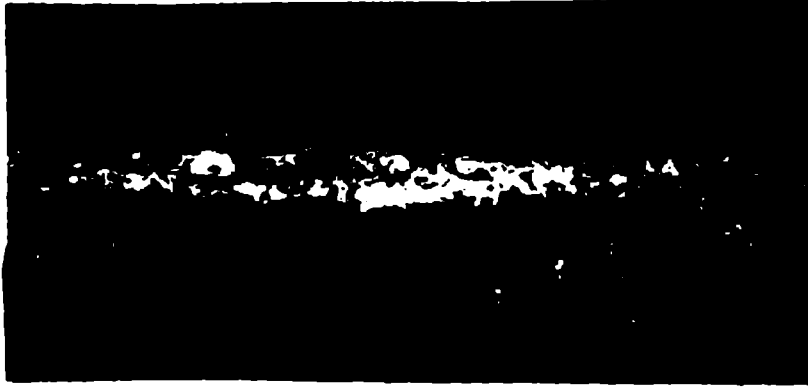
12 – ما المقصود بكل من: البلسار، الاشعة السنكروترونية، الغاز المنحل، نجوم التوري، أفق الحدث؟

الفصل الحادي عشر

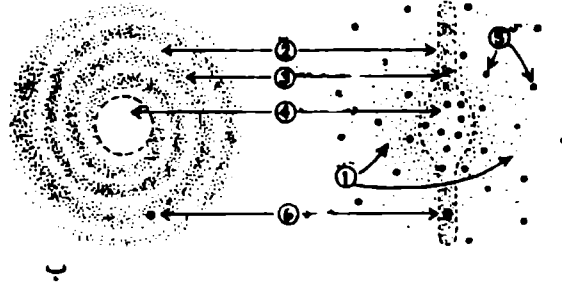
مجرة درب التبانة

Milky Way Galaxy

11:1 تمهيد

لقد تعرفنا في الفصول السابقة على الخصائص الأساسية للنجوم، وكيفية تكونها وتاريخ تطورها، وسنحاول في هذا الفصل أن نتقدم خطوة أخرى للامام للتعرف على مجرتنا (درب التابنة) التي نعيش فيها. ويجب العلم بأنه على الرغم من ضخامة احجام النجوم فانها في الحقيقة ليست سوى لبنات صغيرة في بنية الكون، وقد تظهر لنا النجوم موزعة بصورة عشوائية بجوار الشمس، الا اننا اذا راقبنا السماء في احدى الليالي غير القمرية (في الصيف) مثلاً، ونظرنا عمودياً فوق الرأس نشاهد حزاماً من الضوء الحليبي المتقطع، يبلغ متوسط عرضه حوالي 15^0، يقطع السماء بكاملها على الدائرة الكبرى السماوية. وإذا دصدناها عندما تكون كوكبة الدجاجة Cygnus في نقطة سمتنا، تظهر الطريق الحليبي كما في الشكل (1-11) على شكل قوس ممتد من الشمال الشرقي الاقصى الى الجنوب الغربي الأفقي، حيث يمر مجراها في كوكبة ذات الكرسي Cassiopia وكوكبة قيفاوس Cepheus وكوكبة الدجاجة Cygnus وكوكبة العقارب Aquila وكوكبة القوس Sagittarius وكوكبة العقرب Scorpius الى أن تمر في كوكبة القيثارة lyrae وتختفي في كوكبة الحواء. ان هذا الحزام المكثف من النجوم ما هو الا ذراع من اذرع مجرتنا التي نسميها (مجرة درب التبانة) ويظهر أكثر أجزاء المجرة سطوعاً في برج القوس، والذي يرى لسكان نصف الكرة الشمالية بالقرب من الأفق الجنوبي للسماء خلال الصيف. وتظهر السحب والدروب المعتمة في المستوى المتناظر من درب التبانة (أي مستوى خط استوائها). وتتكون هذه المجرة كغيرها من عشرات البلايين من النجوم (ومنها الشمس) وتتنوع المجرات اشكالاً واحجاماً وتتباعد عن بعضها في الفضاء، ويحاول علماء الفلك الاجابة على اسئلة كثيرة محيرة عن المجرات وتكونها وتطورها.

الشكل (11-1) يوضح أحد أذرع مجرة درب التبانة

11:2 تركيب مجرة درب التبانة The Structure of the Milky way galaxy

بما أننا على الأرض نرتبط بحركة مدارية حول الشمس (قانون كبلر الثالث) وبسبب وقوع الشمس اصلاً داخل المجرة فلا نستطيع ان نرى شكل مجرتنا من الخارج. ولذلك يستخدم الفلكيون صوراً فوتوغرافية لمجرات بعيدة عنا لتساعدنا على تخيل صورة لمجرتنا من الخارج. وبالمقارنة مع المجرات الأخرى، استنتج العلماء انه اذا نظرنا اليها من اعلى لاسفل فستظهر المجرة كقرص مستوي تنتهي حافته بأذرع حلزونية ساطعة يبلغ قطرها الكلي حوالي 30 الف بارسك. وإذا استطاع احدنا ان ينظر الى المجره من احد اطرافها (جوانبها) فان شكلها يذكرنا بصحنين عميقين مجموعين الى بعضهما من الجوانب (كعدسة محدبة الوجهين)، ويبلغ سمك الانتفاخ المركزي للمجرة حوالي 4 الاف بارسك، اما سمك قرص المجرة فيبلغ حوالي 700 بارسك، ويرينا الشكل (11-2) صورة لمجرة درب التبانة، حيث تصنف من النوع الحلزوني Spiral Galaxy . وتتألف مجرتنا من الأجزاء التالية:

الشكل (2-11) يوضح منظر مجرة درب التبانة كما ترى

ا) جانبياً ب) عمودياً

أ) النواة Galactic Nucleus

وهي الجزء المركزي من المجرة الذي هو عبارة عن انتفاخ شبه كروي، تتركز فيه معظم النجوم الهرمة، ولا يمكن رؤيتها بصرياً لاحتجابها خلف السدم الغازية الغبارية المعتمة، ويقوم الفلكيون بدراستها عن طريق رصد الاشعاعات السينية والراديوية وتحت الحمراء الصادرة منها، وتحتوي على الجزء الأكبر من كتلة المجرة.

ب) الهالة Halo

وهي المنطقة المحيطة بكل من النواة وقرص المجرة لمسافات بعيدة جداً، وتحتوي على حوالي 500 عنقود نجمي كروي الشكل.

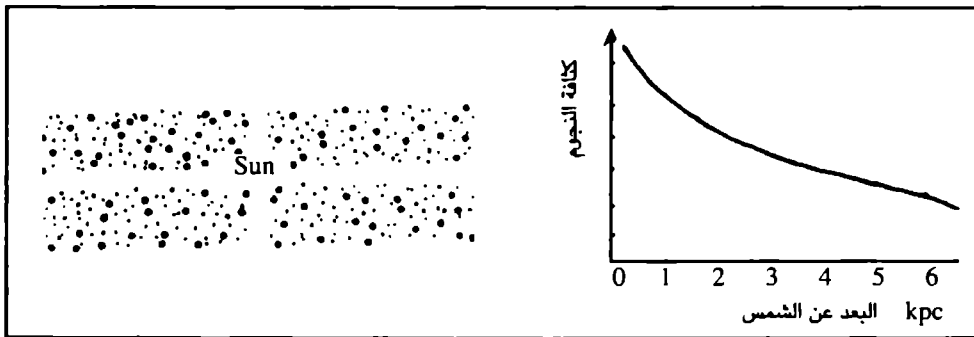
جـ) الاذرع الحلزونية Spiral Arms

تنبثق من النواة اذرع حلزونية متعددة، تحتوي على الكثير من النجوم اللامعة الشابه من نوع B, O_2 وبعض المادة الغازية والغبارية الكونية حيث ما زالت تتشكل النجوم حتى اليوم وان كانت بمعدل اقل مما كانت عليه في الماضي. وتقع شمسنا على الجزء الداخلي لأحد الأذرع الحلزونية على بعد يساوي 10 الاف بارسك من نواة المجرة، لهذا فإننا نرى المجرة ونحن فيها، لأننا نكون واقفين عند طرفها وانظارنا موجهة الى قلبها. ويعتبر العالم غاليليو اول من رصد مجرة درب التبانة في عام 1610 م بواسطة تلسكوبه البسيط.

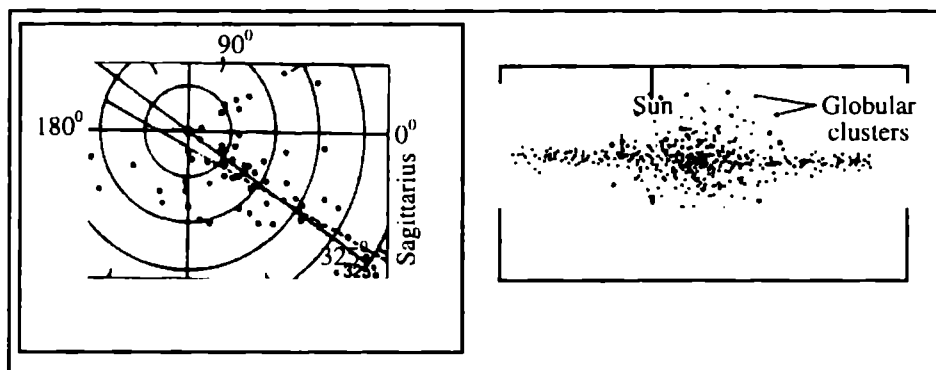
11:3 حجم المجرة وتعيين موقع الشمس في المجرة

حاول الفلكيون تحديد ابعاد المجرة من خلال دراسة كيفية توزع النجوم والعناقيد النجمية في الفضاء، فاستعملوا طريقة الاحصاء النجمي بحيث تحصى اعداد النجوم في اتجاهات مختلفة من السماء، كما فعل الفلكي الهولندي ج كابتين (J. Kaptyne) في الفترة ما بين (1851 - 1922) م، حيث قام بحساب كثافة النجوم (عددها لكل وحدة حجمية) كدالة في البعد عن الشمس، وعيّن ابعادها استناداً الي درجة لمعانها، حيث افترض ان التقديرات النسبية لاعداد النجوم ذات اللمعان المختلف في العينة تحت الدراسة تكون مساوية للتقديرات النسبية بين النجوم القريبة التي يمكن دراستها مباشرة.

وكانت نتيجة اعماله ان النجوم تتوزع على شكل قرص صغير مركزه الشمس، كما ان كثافة النجوم تقل الى نصف قيمتها عند الشمس حتى مسافة 250 بارسك عمودياً على مستوى المجرة، وحتى مسافة 800 بارسك في مستوى المجرة كما في الشكل (3-11).

لكن العلماء اكتشفوا ان هذه الطريقة ليست دقيقة، لأن الغبار المنتشر بين النجوم يمتص جزءاً من ضوئها، فتبدوا اقل ضياءً من حقيقتها، مما يؤدي الى زيادة في قدرها الظاهري، وتتناسب هذه الزيادة طردياً مع بعد النجم، ولذلك تكون المسافات المقدرة بافتراض عدم وجود امتصاص اكبر من المسافات الحقيقية.

الشكل (3-11) يوضح نتائج ج. كابتين

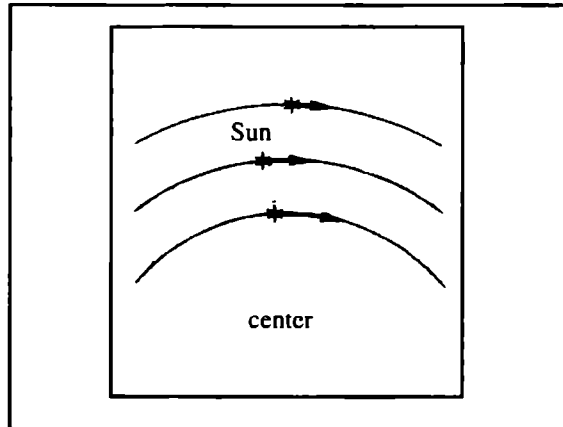
وجرت محاولة اخرى بواسطة الفلكي هارلو شابلي (H. Shapley) من مرصد كلية هارفارد عام 1917 م، حيث قام بدراسة توزيع العناقيد النجمية الكروية في الفضاء العمودي

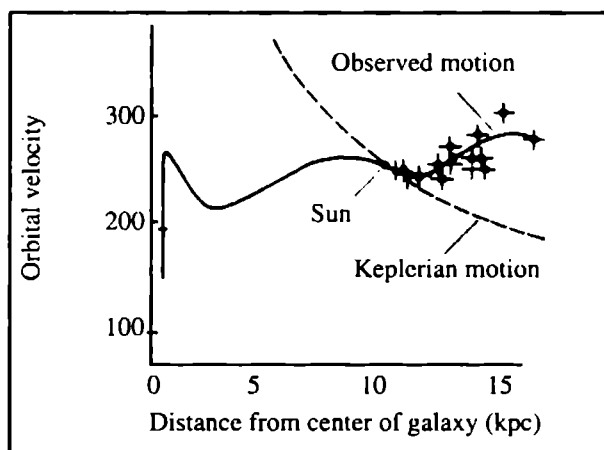
على مستوى المجره، وتم تعيين ابعادها، بقياس اللمعان الظاهري للنجوم المتغيرة (القيثارة) RR Lyrae Stars والمتواجدة فيها، وكانت نتيجة ابحاثه ان هذه العناقيد موزعة بالتساوي فوق واسفل مستوى المجره ولا تظهر بالقرب منه، كما انها تتمركز حول نقطة على طريق التبانه في اتجاه كوكبة القوس كما في الشكل (4-11). ويمكن تفسير ذلك على فرض ان هذه العناقيد الكروية تتمركز حول مركز المجره وليس حول الشمس كما وجد كابتن. واذا كانت ابحاث شابلي صحيحة، فان الشمس تكون بعيدةً عن المركز وفي اتجاه طرف المجره، وكما دلت ابحاثه الأخيرة على ان الشمس تبعد عن مركز المجره حوالي 14 الف بارسك، وكان شابلي محظوظاً حيث ان الضوء الذي درسه كان خالياً من تأثيرات الامتصاص، لان معظم الغازات والاتربة الكونية التي تمتص الضوء النجمي القادم نحو الأرض تتركز في مستوى المجره. وهكذا يعتبر شابلي بحق كوبرنيكوس الجديد حيث تمكن من وضع الشمس والانسانية في مكانها الصحيح بعيداً عن مركز المجره.

الشكل (4-11) يوضح نتائج ابحاث شابلي

وبعدها اجرى الفلكي الامريكي روبرت ترمبلر (R. Trumpler) دراسات تفصيلية للعناقيد النجمية المفتوحة بالقرب من مستوى المجره، وذلك بقياس الاتساع الزاوي الظاهري لتلك العناقيد. على فرض ان الأشياء ذات المظهر المتشابه لها طبيعة متشابهة، متضمنة تماثل الحجوم. كما انه استخدم طريقة اخرى وهي الحصول على مخطط (H - R) البياني لهذه العناقيد، وقارنها بعنقود آخر معروف بعده، للحصول على الأقدار المطلقة لبعض نجوم

العنقود تحت الدراسة. حيث يستطيع باستخدام علاقات مرت معنا سابقاً من تحديد بُعد العنقود اذا علم كل من القدر الظاهري والمطلق لبعض نجومه. وكما لاحظ ان قياس القدر الظاهري لنجوم العنقود تتأثر بالامتصاص الضوئي الناتج عن الوسط البين نجمي، فتصبح اكثر خفوتاً، وبعداً مما هي عليه، كما ان اقطارها بالبارسك تكون اكبر من مثيلاتها القريبة، وبناءً على هذا استنتج ترمبلر ان الامتصاص يحدث حقاً في الوسط البين نجمي.

11:4 دوران المجره (Galactic Rotation)

ان كل شيء في الكون يتحرك، وتتحرك مجرتنا حركة حول محور يصنع زاوية قائمة مع القرص المجري، وان سبب تسطحها هو سرعتها الكبيرة في الدوران، واوضحت ابحاث الفلكي الهولندي جان اورت (J. oort) عام 1927 م على ان نجوم المجرة جميعها تدور حول مركز المجرة في مسارات تختلف في اشكالها من القطع الناقص الى الدائرة، ففي المنطقة الواقعة بجوار الشمس وحتى الحافة الخارجية للمجره تدور النجوم حول المركز بسرعات مدارية بطيئة نسبياً بالنسبة لسرعة الشمس في مدارها، وهذه السرعات المدارية تقل تدريجياً مع زيادة بعدها عن مركز المجره وتدعى (بظاهرة الاختلاف التفاضلي الدوراني) كما في الشكل. (5-11).

الشكل (5-11) يوضح حركة النجوم القريبة من الشمس في مجرتنا

وتدور النجوم الخارجية كأجسام مستقلة عن بعضها البعض حيث تخضع لقوة جذب النواه المجرية الكبيرة (قانون كبلر الثالث)، وتتراوح سرعاتها المدارية بين 200 - 300 كم/ ثانية، أما سرعة الشمس فهي حوالي 250 كم / ثانية. أما في الجزء الداخلي من المجره فتدور النجوم حول المركز بطريقة تشبه دوران الجسم الصلب، حيث يتأثر النجم بقوى الجاذبية من جميع النجوم المحيطة به، حيث تزداد سرعة النجوم كلما ازداد بعدها عن مركز المجره لثبات سرعة الدوران الزاويّة لهذا الجزء من المجره، بسبب انتظام توزيع مادة النجوم والشكل (6-11) يرينا كيفية تغير السرعات المدارية للنجوم المجرية مع بعدها عن مركز المجره، ويدل عدم هبوط سرعة النجوم الى مقادير اصغر من سرعة الشمس المدارية على وجود قسم لا بأس به من المادة المجرية في الأجزاء الخارجية من المجره.

الشكل (6-11) يوضح سرعة دوران مجرة درب التبانة

11:5 كتلة المجرة

يمكن تعيين كتلة المجرة بسهولة لو علمنا حجمها الحقيقي وكثافة النجوم بالقرب من الشمس، وعلى فرض ان كثافة النجوم متجانسة خلال حجم المجرة، نحسب الكتلة المجرية من حاصل ضرب الحجم والكثافة معاً، ولعدم معرفة العلماء كثافة النجوم الحقيقية، لجأ الفلكيون الى استخدام طريقة اخرى، وهي رصد مدارات النجوم حول مركز المجره، حيث يعتمد شكل المدار واستطالته ونصف قطره وسرعة النجم في مداره على قوة الجذب المتبادلة

بين النجم المرصود ومركز المجره، وحسب صيغة نيوتن المعدلة لقانون كبلر الثالث والمعطاة بالعلاقة:

$$(m_1 + m_2)\,p^2 = a^3$$

حيث (m_1) تعبر عن كتلة النجم المرصود بدلالة كتلة الشمس.

و (m_2) تعبر عن كتلة المجره التقريبي الواقعة ما بين المركز ومدار النجم بدلالة كتلة الشمس.

و (p) زمن دورة النجم حول مركز المجره بالسنوات.

و (a) متوسط بعد النجم عن مركز المجره بالوحدات الفلكية.

ويمكن استخدام الشمس كنجم يدور حول مركز المجره، حيث نصف قطر مدارها (a = 10 الاف بارسك)، وبمعرفتنا لسرعة دوران الشمس حول مركز المجره والبالغة حوالي 250 كم/ ثانية، حيث تم الحصول على تلك السرعة بقياس السرعات الظاهرية للاجسام الثابتة نسبياً في المجرات المجاورة، كمجرة المرأة المسلسلة ويمكن حساب زمن دورتها حول الشمس بالسنوات باستعمال العلاقة التالية:

$$p = \frac{2\pi r}{v} = \frac{\text{محيط المسار}}{\text{السرعة}}$$

$$p = \frac{2\,(3.14)\,(10^4)\,(206265)\ \ (149 \times 10^6)\ \text{km}}{250\ \text{km/sec}}$$

$$p = 250 \times 10^6\ \text{years.}$$

وبناءً على ما تقدم تكون كتلة المجره التقريبية (بالاضافة لكتلة الشمس) كما يلي:

$$(m_1 + m_2) = \frac{a^3}{p^2}$$

$$(m_1 + m_2) = \frac{[(10^4)\ \ (206265(\ \ \text{A.U}]^3}{[250 \times 10^6\ \text{yr}]^2}$$

$$\text{or} \qquad M_{galaxy} \approx 1.3 \times 10^{11}\ M_{\Theta}$$

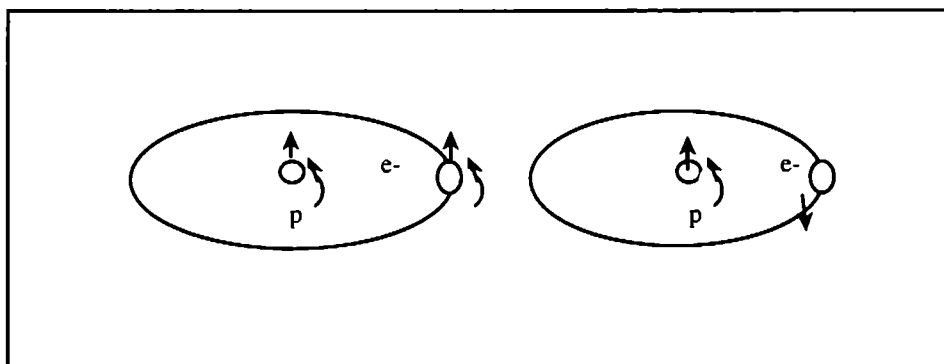
ان النتيجة السابقة التي حصلنا عليها ليست دقيقة بل تقريبية، لسبب واضح وهو اننا اهملنا جزءاً من كتلة المجرة الواقع خارج مدار الشمس، ولا بد ان دوران الشمس حول مركز المجره يتأثر بكثير من الاجرام حولها، ولذلك يمكن الحصول على نتيجة اقرب الى الحقيقة من النتيجة السابقة وذلك باستخدام خصائص نجم أخر ابعد من الشمس. ويقدر العلماء كتلة النواة المجرية مع الهالة المحيطة حوالى 80% من الكتلة الكلية، أما كتلة الغاز المنتشر في الوسط البين نجمي فيقدر بحوالي 10% من كتلة المجرة ولمعرفة عدد نجوم المجرة الكلي، فيمكن الحصول عليه اذا علمنا متوسط كتلة النجم الواحد في مجرتنا (وهي اقل من كتلة الشمس)، لأن سطوع الكثير من النجوم اقل من سطوع الشمس، وعلى اعتبار متوسط كتلة النجم تعادل حوالي 0.7 من كتلة الشمس فيكون عدد النجوم الكلي في مجرتنا حوالي:

$$\frac{\text{كتلة المجرة التقريبي}}{\text{متوسط كتلة النجم الواحد}} = \frac{1.3 \times 10^{11}\ M_\odot}{0.7\ M_\odot} \approx 2 \times 10^{11}\ \text{نجم}$$

وتقدر كمية الغاز والاتربة الكونية خارج مدار الشمس في مجرتنا بحوالي 5% من كتلة المجرة.

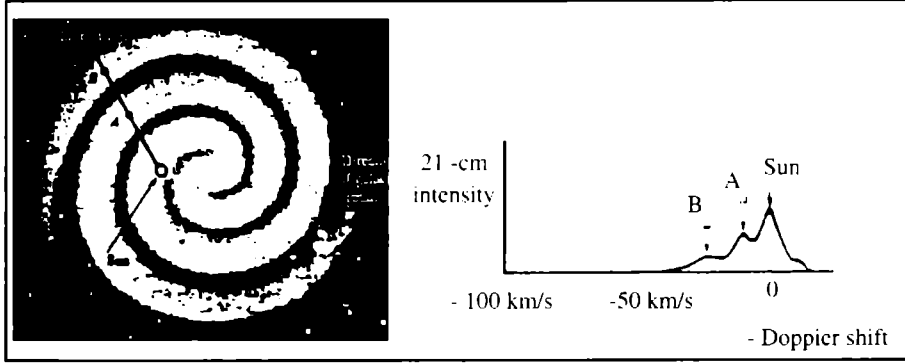
11:6 الاشعاع الراديوي ذي الطول الموجي 21 سم والتركيب الحلزوني للمجرة

لقد تمكن العلماء من دراسة شكل مجرتنا عن طريق الارصاد في المنطقة المرئية، حيث تعاني من ظاهرة الامتصاص الذي يتم في الوسط البين نجمي، ولذلك استخدم الفلكيون الارصاد الراديوية لاستطاعتها النفاذ خلال مناطق الغاز والاتربة بدون ان تعاني من امتصاص يذكر، ويمكن في بعض الاحيان تعيين عدد الاذرع الحلزونية للمجرات البعيدة، وذلك بالتقاط صورة فوتوغرافية للمجره بواسطة تلسكوبات قوية بصرية وزمن تعريض كافي، وزاوية تصوير مناسبة للمجره، كي يتمكن الفلكي من تمييز اذرعها عن بعضها البعض، وعلى الرغم اننا لا نستطيع استخدام هذه الطريقة بالنسبة لمجرتنا لاسباب منها، اننا نعيش بداخلها، ولإنغماس معظم نجوم المجره بسحب غازية وترابية كبيرة الكثافة، الا انها تستخدم للمجرات الخارجية التي ابعادها اقل من 15000 سنة ضوئية، حيث تشير نتائج الأرصاد المرئية ان لمجرتنا ذراعين أو أربعة أذرع حلزونية، ولكن الأمر لم يجزم نهائياً بهذه الطريقة.

ثم استخدم العلماء الامواج الراديوية (طول موجتها 21 سم) والصادرة عن ذرات الهيدروجين المتعادلة (HI) والموجودة ما بين النجوم وعلى الأذرع الحلزونية، حيث حصل الفلكيون على مخطط لشدة هذه الامواج الراديوية في كل الاتجاهات من حولنا، حيث حصلوا على صورة لتوزع غاز الهيدروجين في كل انحاء مجرتنا ويتمركز غاز الهيدروجين في ممرات متميزة، ومنفصلة عن بعضها بفراغات واسعة، تحتوي على غاز الهيدروجين وبكثافة قليلة، وتدل الصورة الراديوية على وجود الأذرع الحلزونية، حيث تبعث ذرات الهيدروجين المتعادلة اشعاعات مرئية وراديوية طولها 21 سم، وتصل الموجات الراديوية للأرض من الاتجاهات التي تقع فيها الاذرع الحلزونية، ولقد تنبأ بذلك العالم هندريك فان دي عام 1944 م، حيث تحتوي ذرة الهيدروجين على بروتون والكترون يدور حول النواه في مدار محدد، ويكون لكل منهما لفاً مغزلياً نتيجة دوران كل منهما حول نفسه فعندما يكون الالكترون في اقل مستوى من الطاقة (الحالة الارضية E_0)، يكون اتجاه اللف المغزلي لكل منهما متعاكسان ($\uparrow\downarrow$) واذا إصطدمت ذرة الهيدروجين مع ذرة هيدروجين اخرى تصادماً غير مرن مثلاً، تكتسب احداهما طاقة وتتهيج لتصبح في المستوى المثار الأول (E_1)، حيث E_1 أكبر من E_0، فيتغير اتجاه اللف المغزلي للإلكترون ويصبح في نفس اتجاه اللف المغزلي للبروتون ($\downarrow\downarrow$). وقد يبقى هذا الوضع لفترة طويلة جداً تقارب 10^7 سنة، بعدها يرجع اتجاه اللف المغزلي للالكترون الى اتجاه الضد (الحالة الارضية)، وتبعث ذرة الهيدروجين لحظياً فوتوناً طوله 21 سم (ذو طاقة قليلة) كما في الشكل (7-11).

الشكل (7-11) يوضح كيفية إشعاع الخط الراديوي الهيدروجيني

وقد يتصور البعض انه من الصعب قياس هذه الاشعاعات، لأن معدل انبعاث هذا الاشعاع هو مرة كل عشرة ملايين عام لكل ذرة هيدروجين، ولكن يجب ان لا ننسى ان الهيدروجين يملأ الفضاء الكوني الواسع، والذي يبلغ نصف قطره التقريبي حوالي 20 مليار سنة ضوئية.

ونعود الآن لموضوع التمييز بين الاذرع الحلزونية لمجرة درب التبانة، فلنتصور عالماً فلكياً ينظر من خلال تلسكوبة الراديوي بعيداً عن الشمس على امتداد الخط المنقط، والذي يقطع سحابتين غازيتين من الهيدروجين (A) ,(B) على ابعاد مختلفة من بعضهما البعض، كما في الشكل (8-11) أن سرعة السحابة الداخلية (A) اكبر من سرعة السحابة الخارجية (B)، وخلال دوران الشمس حول المجرة، تقترب الشمس نحو كلاً من السحابتين (A) ,(B) فيكون الفرق بين سرعة الشمس القطرية وسرعة السحابة الداخلية القطرية (السرعة النسبية) اقل ما يمكن.

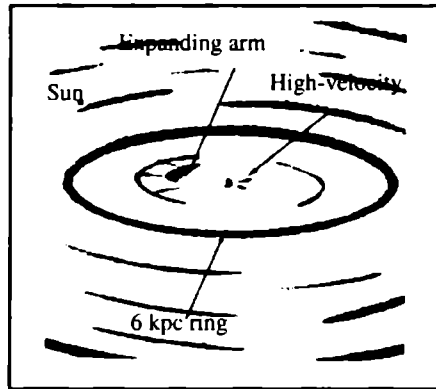
ويكون انحراف دوبلر للخط الموجي (21 سم) نحو اللون الأزرق اقل ما يمكن، وبالعكس يكون الفرق بين سرعة الشمس القطرية وسرعة السحابة الخارجية القطرية اكبر نسبياً منها في الحالة الأولي ويكون انحراف دوبلر نحو اللون الازرق اكبر ما يمكن حيث تمثل القمم في الشكل السحابات الغازية الموجودة على الاذرع الحلزونية اما القيعان في الشكل فتمثل الفجوات بين الاذرع الحلزونية كما في الشكل (8-11)، وإذا كانت كل من السحابتين تنتمي الى جزء من ذراع حلزوني في المجرة، فكيف يتم ترتيبها على ابعاد مختلفة من الشمس؟ هنا نفترض ان الشمس والسحابات الغازية تدور حول مركز المجره في مدارات دائرية، وبالطبع فان سرعة الشمس حول مركز المجره تكون معلومة، وعندما نرصد الخط الراديوي الهيدروجين 21 سم للسحابة فنحن نعلم اتجاه الرؤيا، فنتمكن من قياس السرعة القطرية للسحابة من الانزياح الدوبلري، ومنها نستطيع معرفة سرعة دوران السحابة، ثم نستخدم منحنى دوران المجره لايجاد بُعد السحابة المناظرة لسرعة السحابة التي حددناها سابقاً، وعلى الرغم من سهولة رصد الخط الطيفي الراديوي للهيدروجين الذريّ الا ان هذه الطريقة أعطت نتائج متضاربة لعدد الأذرع الحلزونية (وتتراوح بين إثنين إلى أربعة).

الشكل (11-8) يمثل قياس سرعة السحابات الهيدروجينية في المجرة

هذا بالاضـافة لعدم تمكنهم من تعيين مناطق غاز جزيئات الهيدروجين (الذي يتكون في السدم الكثيفة) ولأهميتها في تكوين النجوم الوليدة، وهنا يكون الاشعاع الراديوي 21 سم ضعيفاً، لأن اشعاع الجزيئات الهيدروجينية يختلف عن اشعاع الهيدروجين الذرّي، فيكون طوله الموجي اكبر، ونظراً لتوفر جزيئات غاز اول اكسد الكربون (CO) بكميات مناسبة في الفضاء المجري، قام الفلكيون باستخدامه كأداة قوية لدراسة توزيعه في المجره، حيث يصدر خطوط طيفية راديوية عند الطول الموجي (2.6) ملم، حيث تمكن العلماء من رسم خريطة راديوية جديدة للمجره، يتضح فيها وجود أربعة أذرع رئيسية حلزونية للمجرة كما في الشكل (11-9).

الشكل (11-9) يوضح خريطة راديوية لمجرة درب التبانة

إن خط الإصدار الصادر عن اول اكسيد الكربون لا يضعف انبعاثه في مناطق السحب الكثيفة التي يوجد بها غاز ثاني اكسيد الكربون، لا بل ويحدث له تقوية أيضاً، والخلاصة ان تحديد شكل وتركيب مجرتنا كان يزداد تعقيداً في البداية، عندما كانت الارصاد الفلكية تتم على انواع مختلفة من النجوم، لتعطي درجة تسطح للمجرة مختلفة حسب نوع النجوم المرصدة، فمثلاً وجد ان توزيع النجوم اللامعة والحديثة من النوع B.O لها توزيع شديد التسطح ومركزه بالقرب من مستوى المجره، ويشبه هذا توزيع الغاز والاتربة المنتشرة بين النجوم، وعلى اية حال لا تعمر هذه النجوم طويلاً حتى نلحظ مغادرتها للأذرع الحلزونية الموجودة عليها. كما ان استخدام توزيع النجوم العملاقة الحمراء والنجوم السفيدية المتغيرة (ذات أزمان دورية ضوئية طويلة، وهي ذات لمعان كبير، ويمكن رؤيتها لمسافات طويلة)، دل على ان لها توزيعاً متوسط التسطح. كما استخدم الفلكيون توزيع العناقيد الكروية ونجوم السرعات العالية الموجودة في الهالة المجرية حيث كان لها توزيع منتظم واكثر دائرية حول نقطة بعيدة جداً عن الشمس.

11:7 مركز المجرة (Galactic Center)

تدل المشاهدات الفلكية العديدة على ان مركز المجرة يحتوي على نجوم باردة قديمة التكوين، ولا يرى بسهولة بالعين المجردة لوجود سحب غازية وغبارية حوله تحجبه عنا، ولحسن الحظ فان وجود غازات الهيدروجين وأول اكسيد الكربون يجعل من السهل رسم خريطة راديوية لمركز المجره كما في الشكل (11-10)

الشكل (11-10) يوضح فعاليات مركز مجرة درب التبانة

وفي السنوات الاخيرة استخدم الباحثون في دراستهم لدرب التبانة طريقة التداخل الراديوي باستخدام مرصدين راديويّين احدهما على الشاطىء الشرقي لامريكا والآخر على شاطئها الغربي حيث دلت النتائج عن وجود نواة نشطة تبدو وكأنها مصدر راديوي دقيق بالغ التراص في بُرج السمّاك الرامح (مركز العناقيد الكروية)، ويبلغ قطره حوالي 0.01 ثانية قوسية، ويبعث اشعاعات عديدة اهمها الاشعة السينية والاشعة تحت الحمراء والمرئية والراديوية، لذلك فهو كما يبدو تجمع مادي سريع الحركة (كما هو حال السقوط السريع للمادة نحو الثقوب السوداء). لهذا يعتقد العلماء أن في مركز المجره ثقباً اسود تقدر كتلته بحوالي 10 ملايين كتلة شمسية، أما الحجم الذي يشغله هذا الثقب الاسود، فهو صغير نسبياً، اذ يصل قطره الى 20 وحدة فلكية تقريباً، كما أن هناك أدلة أخرى تدل على وجود نواة فعّالة في مركز المجرة تحتوي على ثقب اسود تتلخص في وجود سحابة غازية متمددة للخارج، وهي الان على بعد 3000 بارسك. كما شوهدت خطوط انبعاثية طيفية من غاز ساخن في مجال الاشعة تحت الحمراء مما يدل على ان سحباً غازية تتحرك بسرعة كبيرة في مداراتها. كما دلت الارصاد الطيفية الراديوية ذات الطول الموجي 2.6 ملم على وجود سحب غازية بين النجوم موزعة على شكل حلقة دائرية على بعد 6000 بارسك من المركز، وما زالت تتمدد نحو الخارج وكأنها ناتجة عن انفجارات نجمية عنيفة، كل ذلك يدل على توفر طاقة كافية من ثقب اسود ثقيل، ربما يعود تاريخه الى الايام الاولى لتشكل مجرة درب التبانة. علماً بأن عمر مجرة درب التبانة، يقدر بحوالي 15 بليون عام، وهي مشتقة من القيمة العظمى التقريبية لعمر العناقيد النجمية الكروية.

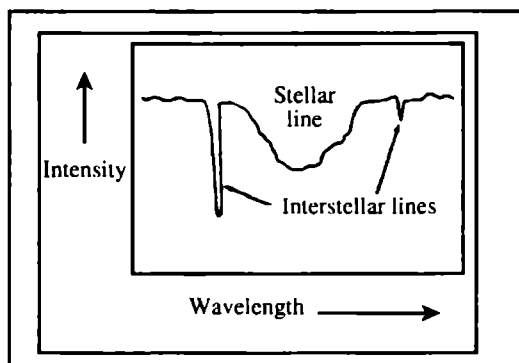
11:8 الوسط البين نجمي (Interstellar Medium)

ينتشر في فضاء المجرة (ما بين النجوم) وسط مادي غير كثيف من الغاز والغبار الكوني، والذي يظهر احياناً في قرص المجرة وبين الاذرع الحلزونية على شكل سدم متميزة في كثافتها ولمعانها واشكالها، ويعتقد الفلكيون أن النجوم في المجرات قد تكونت من تكاثف هذا الغاز والغبار الذي تحول بعضه إلى عناصر معدنية ثقيلة في باطن النجوم، وتعيد النجوم بعضاً من هذه المادة الى الوسط البين نجمي خلال عمليات فقدان الكتلة، فهو اذن يعمل كمستودع للمادة التي تتكون منها النجوم، وتبلغ متوسط كثافته حوالي (جسيم واحد / سم^3)

وهذا الوسط دائم الحركة، وكثيراً ما يشاهد العلماء سحب غازية ساخنة جداً ومتحركة بسرعة قد تصل الى 100 كم / ثانية، خاصة المصاحبة لإنفجارات السوبرنوفا والتي تحدث في مجرتنا بمعدل مرة واحدة لكل مئة سنة. بالاضافة الى الرياح النجمية القادمة من نجوم ساخنة والتي تطرد المادة من طريقها.

ويتكون الوسط البين نجمي من 99% غازات مختلفة و 1% أتربة (نسب وزنية)، ومن ناحية أخرى، فإن التركيب الكيماوي لغاز ما بين النجوم يشبه تركيب الشمس، حيث يعتبر غاز الهيدروجين العنصر الرئيسي فيه، ويليه الهيليوم وكميات قليلة من الاكسجين والنيتروجين وبخار الماء واكاسيد الكربون، والميثان والأمونيا وحامض الفورميك (مادة عضوية) وبعض الأحماض الأمينية، وسيانيد الهيدروجين، وأكاسيد الكبريت وجزيء الهيدروكسيل، والفورمالدهايد والكحول المثيلي، وتوجد مثل هذه الجزيئات المعقدة في الغيوم الغبارية الكثيفة في الوسط البين نجمي، حيث تبيّن وجود هذه الجزيئات الغازية من خلال الدراسات العملية الطيفية لغاز ما بين النجوم، فاستخدمت الاشعاعات الراديوية (21) سم، والصادرة من ذرات الهيدروجين المتعادلة (مناطق HI)، وكذلك الخط الراديوي (2,6) ملم الصادرة عن أول أكسيد الكربون وغيره من الجزيئات، ثم استخدمت خطوط الإمتصاص في الأطياف النجمية الناتجة عن غاز ما بين النجوم (خاصة في منطقتي الفوق بنفسجي والمرئية)، ولقد اكتشفت هذه الخطوط الامتصاصية في اطياف العديد من النجوم الساخنة والباردة على حد سواء، ومن المعروف ان أطيافها يجب ان تكون مختلفة جداً، وعلى هذا فالخطوط المشتركة بينهم تكون على اكثر تقدير بسبب مادة خارج النجوم، تقع بين الأرض وتلك النجوم. وتمتاز هذه الخطوط الامتصاصية الناتجة عن غازات ما بين النجوم في كونها حادة جداً، بينما خطوط الامتصاص الناتجه عن جو النجم الخارجي تكون عريضة نوعا ما، كما في الشكل (11 - 11)، ويعود السبب الى أن هذه الخطوط الامتصاصية تتكون في مناطق ذات كثافة غازية منخفضة جداً، وذات ضغط مخلخل،، فتكون مستويات الطاقة محددة تماماً وتتم الانتقالات الالكترونية ضمن مدى من الطاقة محدد بدقة كبيرة، فيظهر الخط الطيفي حاداً، أما الخطوط الطيفية المتكونة في جو النجم الخارجي حيث الكثافة اكبر، والضغط الجوي اكبر، فيكون عدد التصادمات بين الذرات اكبر، ونتيجة لذلك يزداد سمك مستويات الطاقة، وعندما

تتم الانتقالات الالكترونية من مستويات متدنية للطاقة الأخرى اعلى منها طاقة، يكون هناك مدى واسع لقيم الطاقة المتاحة فتظهر الخطوط الطيفية سميكة (عريضة)، وهذا هو نفس العامل الذي يجعل الخطوط الطيفية للنجوم فوق العملاقة أكثر حدة من الخطوط الطيفية للنجوم القزمة البيضاء ذات الحرارة السطحية المتشابهة، ولا يخفى علينا أن درجة تأين غاز ما بين النجوم ربما يكون مختلفاً تماماً عما هو عليه في جو النجم العادي كما أن درجة الإثارة لذراته تكون مختلفة أيضاً لكونه غازاً مخلخلاً.

كما وتتميز معظم خطوط الامتصاص الطيفي لغاز ما بين النجوم بأنها واقعة في الجزء الفوق بنفسجي من الطيف (لماذا؟). يعود السبب لوجود ذرات غاز ما بين النجوم في الحالة الأرضية بشكل رئيسي حيث تكون كثافتها قليلة، وحرارتها منخفضة ($10^{o}K$ الى $50^{o}K$) مما يجعل التصادمات فيما بينها شبه معدومة، فتبقى في أقل مستوى ممكن للطاقة ولذلك يلزمها فوتون ذو طاقة قوية (فوق بنفسجي) لينقل الإلكترونات في الحالة الأرضية إلى مستويات أعلى طاقة، لينتج طيف امتصاصي في الجزء الفوق بنفسجي من طيف النجم المستمر، ويحدث العكس في أجواء النجم الخارجية، حيث الكثافة والحرارة والتصادمات كبيرة، فتكون الذرات في مستويات مثارة متعددة، وعندما تحدث الانتقالات الإلكترونية إلى مدارات أعلى يلزم فوتونات ذات طاقة بسيطة (في الجزء المرئي) وتظهر خطوطه الامتصاصية في الجزء المرئي من الطيف النجمي المستمر.

الشكل (11-11) خطوط الامتصاص لغاز ما بين النجوم والاغلفة النجمية

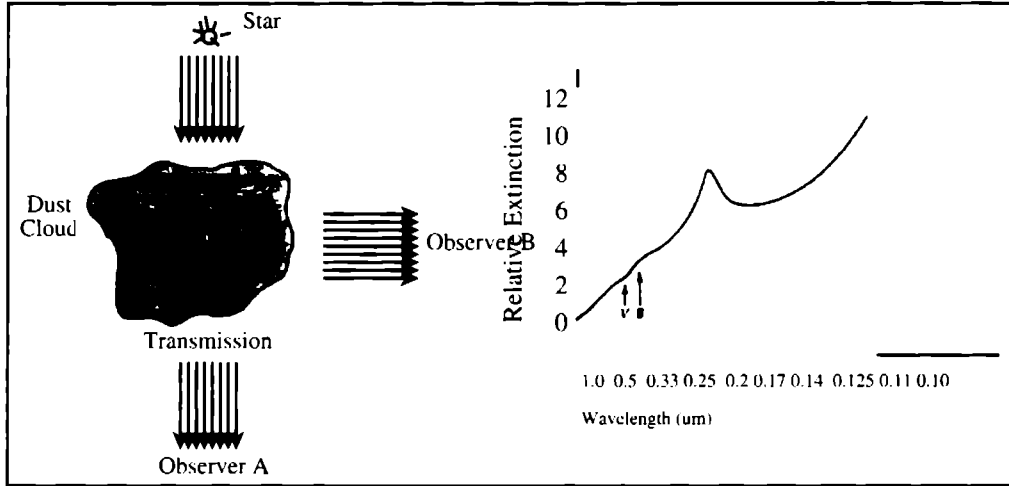
والجـدير بالذكـر أن بعض العناصـر الموجـودة في وسط مـا بين النجـوم تقع خطوط امتصاصها في المنطقة المرئية من الطيف النجمي كالصوديوم والكالسيوم، كما وتتميز خطوط الامتصاص الناتجة عن غاز ما بين النجوم بأنّ لها إزاحات دوبلرية مختلفة.

ونلخص ما أوردناه سابقاً فنقول: بأن الغاز البين نجمي يجعل النجوم تبدو للعين وكأنها لم تتغير من حيث اللون أو السطوع أو البعد أو الحرارة السطحية بالمقارنة بمظهرها لو لم يكن الغاز موجوداً.

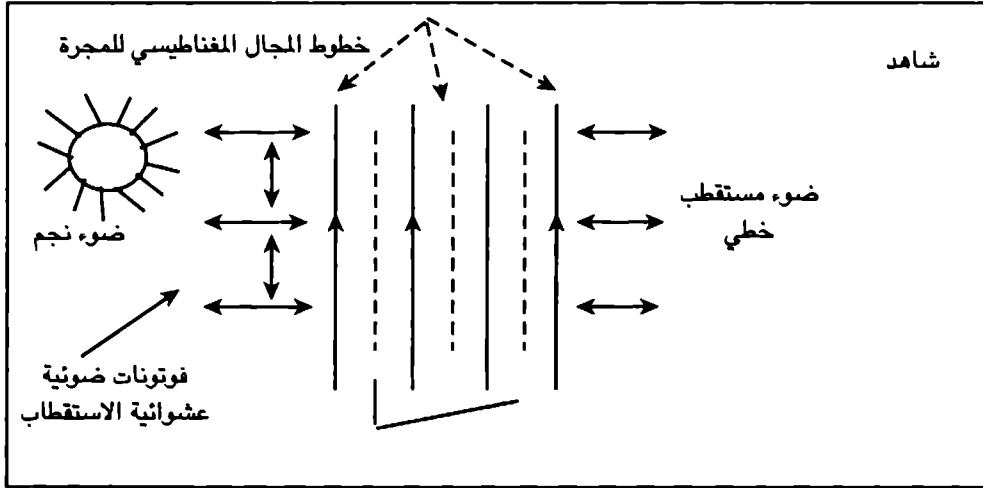
أما بالنسبة لوجود الدقائق الغبارية الصلبة والأتربة في وسط ما بين النجوم، فلقد ثبت للعلماء ذلك منذ زمن طويل، حيث دلّت الصور الفوتوغرافية على وجود مساحات معتمة من الغيوم الكثيفة في المجره، حيث يعمل الغبار الكوني على أن تبدو النجوم اكثر احمراراً وخفوتاً، وبعداً، وبرودة مما هي عليه حقيقة، بالمقارنة مع ما سيكون عليه النجم لو لم يكن هذا الغبار موجوداً، وذلك بسبب تأثيرين أساسيين هما:

1) الامتصاص وتشتت الضوء النجمي **Absorption and Scattering of Stellar Light**

يقوم الغبار بإزالة وامتصاص الفوتونات الضوئية ذات الطول الموجي القصير، بشكل خاص (الضوء الأزرق)، وترك (الضوء الأحمر) على حاله وتدعى هذه العملية بالتشتت الضوئي، حيث يرتد الضوء عند اصطدامه بجسيم صلب، فيتغير مساره، ويزداد التشتت وامتصاص الضوء القادم من نجوم بعيدة مع نقصان طوله الموجي، ولهذا السبب تبدو لنا السماء زرقاء، نتيجة تشتت الضوء الأزرق على جانبي المسار الضوئي، بينما يمر الضوء الأحمر دون أن يعاني أي تشتت مما يؤدي لظهور النجم أكثر احمراراً مما هو عليه حقيقة، ويمكن قياس الزيادة في اللون الاحمر للنجم الناتجة عن الغبار الكوني لأن عملية التشتت تتم بشكل طبيعي، بدون ان يؤثر على الخطوط الامتصاصية الموجودة في الطيف النجمي أصلاً، حيث تعتمد طبيعة التفاعل المتبادل بين مادة وسط ما بين النجوم والاشعاعات النجمية على النسبة بين حجم هذه الدقائق الغبارية، وطول موجة الضوء الساقط عليه، ولذلك نستطيع أن نستنتج قطر وحجم هذه الدقائق الغبارية والتي تقدر بحوالي 10^{-5} سم، من الطريقة التي يزداد فيها احمرار الضوء النجمي. ولقد دلت الابحاث في هذا المجال أن القيمة العظمى لامتصاص الضوء النجمي في وسط ما بين النجوم يتم عند الطول الموجي (2200)

انجستروم، وبما ان الضوء الاحمر ذو الطول الموجي (6000) انجستروم يمر بسهولة من الدقائق الغبارية الصلبة، نستنتج بأن حجم هذه الدقائق يجب أن يكون أصغر أو يساوي (6000) انجستروم أو أكبر أو يساوي (2200 انجستروم، كما في الشكل (12-11).

الشكل (12-11) يوضح تشتت الضوء عن الدقائق الترابية المجرية

ب) ظاهرة استقطاب الضوء النجمي Polariation of Stellar Light

يعتبر الضوء موجة مستعرضة لها مجالان أحدهما كهربائي والآخر مغناطيسي يعامد كل منهما الآخر، ويدل اتجاه المجال الكهربائي $(\overrightarrow{E})$ على إتجاه استقطاب الضوء وبما أن للنجوم مجالات مغناطيسية بسبب حركة الأيونات بداخلها، فمن الطبيعي أن يكون للمجره مجال مغناطيسي محدد يمتد من داخلها لخارجها، ومن هنا وجد العلماء بأن الضوء النجمي الذي يمر في وسط ما بين النجوم يكون مستقطباً. مما يدل على أن هذه الدقائق الغبارية ليست كروية الشكل، ولكنها قد تكون إسطوانية أو عصوية تقريباً، ولتوضيح ما يحدث في وسط ما بين النجوم أنظر الشكل (13-11) والذي يدل على أن الدقائق الغبارية تكون مترتبة بخطوط موازية لخطوط المجال المغناطيسي للمجرة، بحيث يكون استقطابها متعامدا مع إتجاه مجال المجرة، وعند مرور الضوء النجمي، في فضاء ما بين النجوم، فان الدقائق الغبارية تمرر الضوء الذي يمتلك استقطاباً موازياً لأستقطابها، وتقوم بامتصاص الضوء النجمي الذي يمتلك استقطاباً معاكساً لاتجاه استقطاب تلك الدقائق، ولا تسمح له بالمرور ابداً.

الشكل (11-13) يوضح استقطاب الضوء النجمي عبر المجرة

ويعتقد العلماء من خلال هذين التأثيرين، ان الغبار الكوني ربما يتكون من مقادير متفاوتة من السليكون، والكربون والحديد والكالسيوم والبوتاسيوم والتيتانيوم على شكل حبيبات صغيرة مغطاة بطبقة جليدية، وقد تكون الاحتمالات المكنة لتكونها هي التكاثف الذي يتم في السحب الغازية الكثيفة تحت درجة حرارة منخفضة، أو في الأغلفة الجوية للنجوم العملاقة الباردة، وكذلك الفوق عملاقة، أو في المادة النجمية المقذوفة من انفجارات النوفا والسوبرنوفا، كما وجدت حول مناطق تكوّن النجوم الوليدة.

11:9 التجمهرات النجمية المختلفة (Stellar Populations)

ان تاريخ حياة النجوم مرتبطة بتطور المجرة التي تنتمي اليها، ونستطيع أن ندرك تركيب المجرة الحالي من خلال معرفتنا للتطور النجمي والعكس صحيح. هذا وتتكون مجرتنا حالياً من القرص والنواة والهالة، وتنتشر النجوم الساطعة والشابة والثقيلة من نوع B,O ومناطق الهيدروجين الأحادي التأين (HII) على الأذرع الحلزونية للمجرة، والتي تلتف حول النواة في القرص المجري. ولاحظ العلماء وجود فروق بين نجوم القرص المجري، ونجوم الهالة المجرية، حيث قام العالم والتر باد (Walter Baade) عام 1941م بتقسيم نجوم المجرة إعتماداً على عمرها وكمية العناصر الثقيلة التي تحوييها في غلافها الجوي وموقعها في المجرة إلى ثلاث شعب (تجمهرات) كما في الشكل (11-14) أهمها:

أ) نجوم الجمهرة الأولى Population I Stars

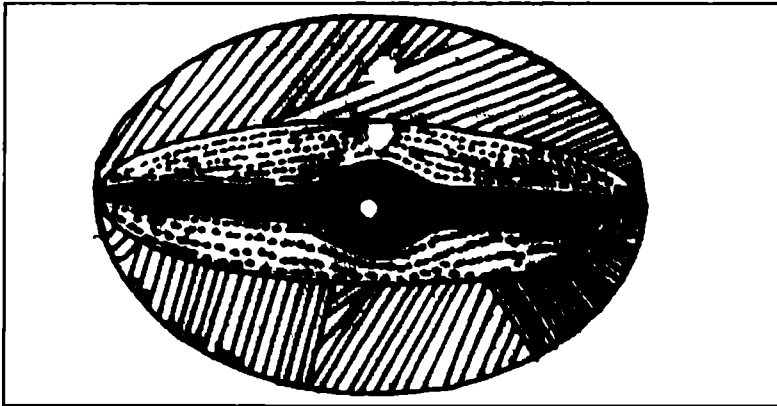
وتطلق على النجوم الموجودة في المنطقة C في الأذرع الحلزونية والقرص المجري، وهو المكان الوحيد المتوفر لولادة النجوم الجديدة، وهي نجوم صغيرة السّن تكونت حديثاً يصل عمرها بضعة ملايين من السنوات (الجيل الثاني) وتحتوي على كمية كبيرة نسبياً من العناصر الثقيلة، فمثلاً تبلغ نسبة محتوى العناصر الثقيلة في أغلفتها الجوية حوالي (4%)، أما نسبة الحديد فتبلغ حوالي (10^{-5}) ضعفاً من محتوى الشمس من الهيدروجين، وتحتوي على العناقيد النجمية المفتوحة وتتحرك هذه النجوم حول نواة المجرة في مسارات دائرية تقريباً وتقع مستوى مداراتها في نفس مستوى المجرة وهي بهذا تشبه الكواكب في المجموعة الشمسية. وتبلغ سرعاتها القطرية حوالي (30 - 20) كم/ث ولذلك فلها إزاحات دوبلرية صغيرة نسبياً، والعناقيد الموجودة فيها غنية بنجوم العمالقة الزرقاء، ونجوم التتابع الرئيسي، والقيفاويات من النوع الأول ولكنها تحوي عدد قليل من العمالقة الحمراء، وتحاط نجومها بمناطق كثيفة من الغازات والأتربة الكونية.

ب) نجوم الجمهرة الثانية Population II Stars

وتتواجد هذه النجوم في المنطقة A في الهالة الكروية حول المجرة والنواة، فعندما كانت المجرة شابة، اخذت نجوم الجمهرة الثانية بالتكون حيث كانت المجرة تحتوي على كمية قليلة من العناصر الثقيلة، بينما كانت كمية الغاز أكبر بكثير مما هو موجود الآن، فلذلك تعتبر نجوم قديمة التكوين، عمرها من عمر المجرة تقريباً 16 - 14 بليون عام أي من نجوم الجيل الأول، وتحتوي على نسبة قليلة من العناصر الثقيلة في جوّها، وكدليل مناسب يبين محتوى العناصر الثقيلة هو النسبة المئوية للكتلة الكلية لغلاف النجم الضوئي من هذه العناصر الثقيلة، وتبلغ نسبتها في النجوم الفقيرة في العناصر الثقيلة حوالي 0.3%، فمثلاً تبلغ نسبة الحديد في هذه النجوم حوالي 10^{-7} ضعفاً من محتوى الشمس من الهيدروجين ومعظم نجومها لها كتلة أقل من كتلة الشمس وذلك لأن معظم النجوم الثقيلة قد انتهت حياتها منذ زمن طويل، ومعظم مداراتها إهليليجية الشكل شديدة الاستطالة، تشبه مدارات بعض المذنبات، كما ان مستوى مداراتها عشوائية، ولما كانت سرعاتها القطرية كبيرة نسبياً (200 كم/ث) فإن الفلكيين يميزون بين نجوم الجمهرة الثانية والأولى بواسطة اختلاف إزاحاتهما الدوبلرية، وتوجد بين الحشود النجمية الكروية المغلقة على شكل نجوم الليري والقيفاويات من

النوع الثاني حيث تختفي معظم نجوم التتابع الرئيسي ويوجد عدد كبير من النجوم العملاقة الحمراء، وعدد قليل من النجوم العملاقة الزرقاء، والتي تكون محاطة بقليل من الغازات والاتربة الكونية.

جـ) نجوم الجمهرة المتوسطة Intermediate Disk Population

وتوجد مثل هذه النجوم في المنطقة B بين الهالة الكروية وقرص المجرة المستوي، وتحوي نجوم متغيرة ذات دورة ضوئية قصيرة ونجوم عملاقة وأقزام بيضاء وسدم كوكبية، وتحتوي على نسبة من العناصر الثقيلة بدرجة متوسطة بين النوعين السابقين، مثل الشمس وما حولها من النجوم، إذ تحتوي الشمس على حوالي (1.5%) من غلافها الجوي من العناصر الثقيلة (كالحديد واليورانيوم...)، ولربما تعتبر الشمس نجماً من الجيل الثالث، أي أن المادة المكونة لها دخلت في تركيب ثلاثة نجوم من قبل. ومهما تكن فكرة تصنيف النجوم فانها مفيدة، مما يجعلنا قادرين على تفسير خصائصها المادية، حيث تدخل المادة المجرية في بناء النجوم، فتتطور، وتندثر بعد موتها، ويتوزع محتواها في الوسط البين نجمي مرة أخرى لتعمل على زيادة محتواه من العناصر الثقيلة، وعندما تتولد نجوم جديدة تكون غنية بالعناصر الثقيلة اكثر من الجيل الذي سبقها. والجدير بالذكر أن نسبة الوفرة من العناصر الثقيلة تختلف حسب الموقع في المجرة، بحيث تقل هذه النسبة مع البعد عن مركز المجرة لتعكس حقيقة نقصان معدل تكون النجوم حالياً.

الشكل (14-11) يوضح مواقع التجمهرات النجمية في مجرة درب التبانة

أسئلة الفصل الحادي عشر

1 - لماذا تبدو الأذرع الحلزونية واضحة لمجرة درب التبانة؟

2 - اذكر أجزاء المجرة الرئيسية؟

3 - هل يمكن تقدير عدد النجوم في مجرتنا أو غيرها؟

4 - مم يتكون وسط ما بين النجوم وما هو تأثير الدقائق الغبارية لوسط ما بين النجوم على خواص النجوم المرصودة؟

5 - ما هي مميزات خطوط الامتصاص لغازات ما بين النجوم عن غيرها، التي تحدث في الأجواء الخارجية للنجوم؟

6 - ما هي المعلومات الفلكية التي يدلنا عليها كون الضوء النجمي مستقطباً أثناء مروره بوسط ما بين النجوم؟

6- صف حركة نجوم المجرة حول النواة المجرية؟

8 - ما هو أصل الإشعاع الراديوي ذي الطول الموجي (21) سم، وما أهميته للفلكيين؟

9 - ما المقصود بالتجمهرات النجمية، وما أنواعها وخصائص كل منها؟

10 - كيف نستطيع تحديد كتلة الدقائق الغبارية الموجودة أمام النجوم؟

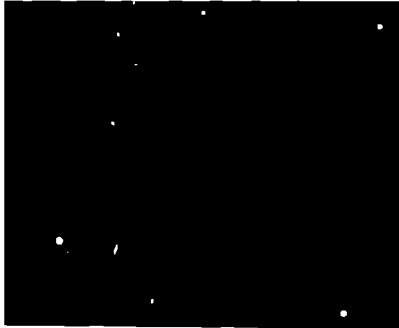
11 - اذكر ثلاثة أنواع على الأقل من المركبات والجزيئات الكيماوية الموجودة في وسط ما بين النجوم، وأين يكثر تواجدها، وكيف نكشف عنها؟

12 - قام طالبان بقياس كتلة مجرة درب التبانة كل على انفراد، حيث استخدم بلال المعلومات المتوفرة عن حركة الشمس حول المجرة. بينما استخدم محمد نجماً آخر يبعد عن مركز المجرة (20) كيلو بارسك، هل تعتقد أنهما سيحصلان على نفس النتيجة. ولماذا؟

الفصل الثاني عشر
المجرات الأخرى
Other Galaxies

12:1 تمهيد:

تعتبر مجرتنا درب التبانة واحدة من عدد لا يحصى من المجرات المنتشرة في هذا الكون المرئي. ولقد تمكن العلماء من اكتشاف تمدد الكون نتيجة دراستهم للمجرات التي فتحت المجال لإمكانية فهم تركيب وتطور الكون كله، ومنذ أن استعملت التلسكوبات الراديوية خلال المئتي سنة الماضية، ومع تقدم أساليب التصوير الفوتوغرافي منذ قرن مضى، اكتشف الفلكيون عدداً كبيراً من الأجسام المضيئة خارج حدود مجرتنا، وفي مختلف الاتجاهات على الكرة السماوية ويظهر بعضها في ليلة صافية غير مقمرة للعين المجردة كبقعة غبشاء خافتة الاضاءة عرفت فيما بعد بمجرة المرأة المسلسلة (M31) وبقي أمر هذه السدم المضيئة غير واضحاً، إذ اعتقد البعض (مثل هارلو شابلي) انها سدم ترابية داخل مجرتنا.

وعلى الرغم انه توصل لمعرفة موقع الشمس في مجرتنا، إلا أنه اخطأ في تقدير حجم مجرتنا، ولذلك افترض أن غيوم ماجلان (الكبرى والصغرى) والواقعة على بعد 5 5 كيلو بارسك، ما هي إلا بمثابة أقمار لمجرتنا (أي بداخلها)، إلا أن الفلكي هيرد كيرتس (H. Curtis) لم يوافقه الرأي، فاعتبرها مجرات خارجية مستقلة، ودعم فكرة أن الكون يتألف من جزر كونية (مجرات عديدة) كما في الشكل (1-12)، وبقي الغموض في فهم طبيعة المجرات حتى جاء العالم ادوين هبل (E. Hubble) عام 1924م حيث تمكن باستخدام تلسكوب قطره مائة بوصة من التعرف على بعض النجوم المنفردة الاكثر لمعاناً في الأجزاء الخارجية من مجرة المرأة المسلسلة بالاضافة الى اكتشافه بعض متغيرات السيفيد بداخلها، والتي تتراوح أزمانها الدولية ما بين (100 - 5) يوم. حيث اعتمد على قانون (النورانية – الزمن الدوري)، مع العلم ان مشكلة طبيعة المجرات لم تحل نهائياً، إلا بعد أن تم تمييز نوعان من متغيرات السيفيد، حيث لكل منهما علاقة ما بين النورانية والزمن الدوري مختلفة عن الآخر.

الشكل (1 - 12) يمثل عنقود من المجرات في كوكبة هرقل

(8 - 2) تصنيف هبل للمجرات

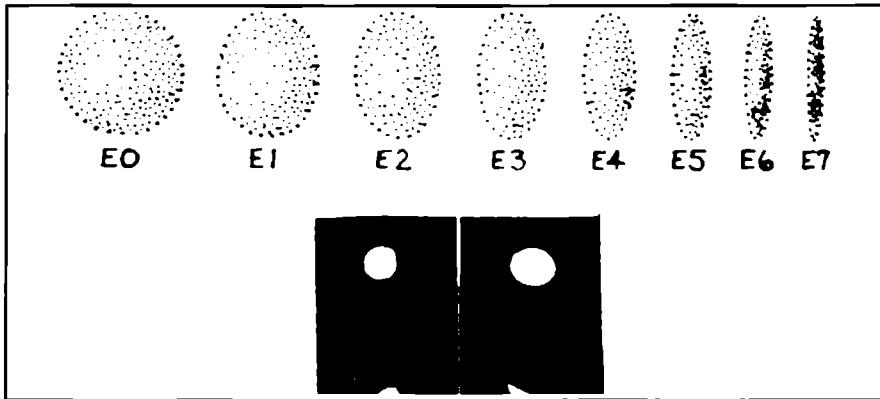
The Hubble Classification of Galaxies

قام هبل عام 1925 م بتصنيف المجرات تبعاً لأشكالها الى الأصناف التالية:

أ) المجرات الاهليلجية (البيضاوية) Elliptical Galaxies

حيث تتجمع نجومها على شكل البيضة (Egg)، وقد تتدرج في الشكل من الكرة الى أي شكل دوراني ناتج من دوران قطع ناقص حول محوره الاصغر، وعلى ذلك فان مقطع المجره يتراوح من شكل الدائرة الى القطع الناقص المدبب وتعرف أشكال المجرات الاهليلجية بالحرف (E) المتبوع برقم (n) يتراوح من صفر حتى 7 وتحدد قيمته لأقرب عدد صحيح حسب النسبة بين طول المحور القصير (b) الى طول المحور الطويل (a) لمقطع المجره الناقص من العلاقة.

$$n = 10 \left(1 - \frac{b}{a}\right)$$

وذلك بقياس طول كل من محوري المجرة من الصورة الفوتوغرافية التي نحصل عليها بواسطة التلسكوبات البصرية. فمثلاً المجرة (E_0) تكون كروية الشكل حيث (a = b) وتتدرج من E_0, E_1, E_2, E_3, ... E_7 (اكثرها انبساطاً وتفلطحاً) مثل (M32) ، و (M87)، واصغر انواع هذه المجرات الاهليليجية تدعى بالاقزام البيضاوية. حيث يدل الحرف (M) على جدول مسيو الفلكي الفرنسي الذي رصد اكثر من 100 سديم (مجره) كما في الشكل (2 - 12).

الشكل (2 - 12) يوضح أشكال المجرات الإهليليجية

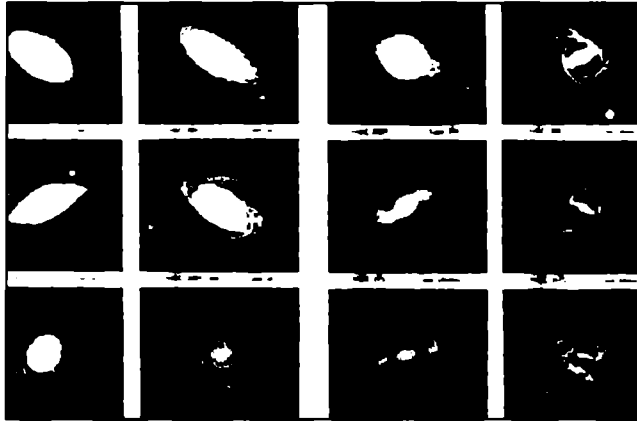
ب) المجرات الحلزونية الشكل Spiral Galaxies

ومن أمثلتها مجرتنا درب التبانة وهي أنظمة مسطحة من النجوم كما في الشكل (3 - 12) ولقد صنفت حسب تماسك نواتها إلى مجموعتين هما: المجرات الحلزونية العادية Normal Spirals وهذه لها نواة على شكل قطع ناقص تتكدس فيه نجوم المجرة وهالة وقرص منبسط، وأذرع حلزونية حيث تتوزع بقية نجوم المجرة على الأذرع الحلزونية المتفرعة من نواة المجرة وتعرف بالرمز (S).

والمجموعة الثانية من المجرات الحلزونية تدعى بالمجرات الحلزونية القضيبية Barred Spirals وتعرف بالرمز (SB) وهي تشبه المجرة الحلزونية العادية ما عدا أن الأذرع الحلزونية تمتد من نهايتي تركيز كبير للمادة والنجوم، تأخذ شكل قضيب مركزي يمر بنواة المجرة، ولقد قسمت المجرات الحلزونية العادية إلى أصناف أخرى حسب درجة إلتفاف الأذرع الحلزونية حول بعضها وهي:

Sa : وهي المجرة التي لها نواة كبيرة، وأذرعها الحلزونية مقفلة على بعضها.

Sb : وهي المجرة التي لها نواة متوسطة، وأذرعها الحلزونية متوسطة الالتفاف حول النواة مثل مجرة دربة التبانة.

Sc : وهي المجرة التي لها نواة صغيرة وأذرع حلزونية مفتوحة حول النواة.

الشكل (3 - 12) يوضح المجرات الحلزونية

أما المجرات الحلزونية القضيبية فلقد قسمت إلى الأصناف التالية:

SBa وهي مجرات حلزونية يتمركز سطوعها بشدة في القضيب والنواة وتكون أذرعها متراصة حول بعضها.

SBc في هذا النوع من المجرات الحلزونية القضيبية يكون السطوع موزعاً بالتساوي بين الأذرع والنواة.

SBc في هذا النوع من المجرات الحلزونية القضيبية تكون النواة أقل وضوحاً، ويتركز سطوعها في القضيب وتكون الأذرع مفتوحة، وربما يوجد مجرات من النوع SBab أو SBbc أو SBac.

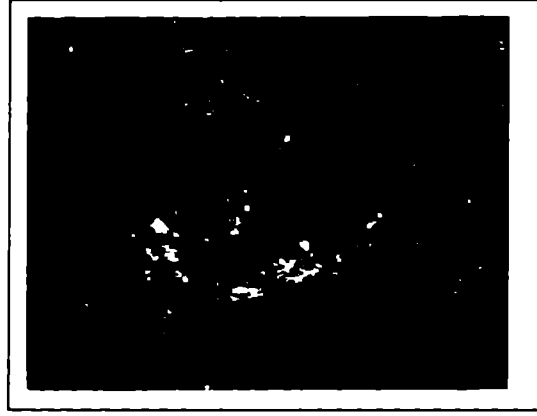
ويعتقد العلماء بأن الفرق بين المجرات الحلزونية التي لها قضيب مركزي وتلك التي ليس لها قضيب مركزي هو وجود الهالة الثقيلة حول المركز.

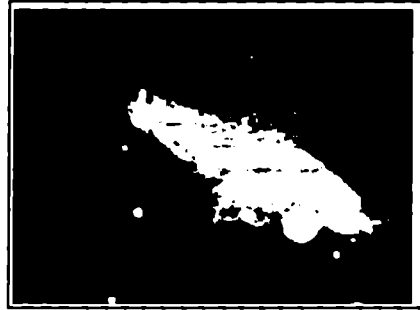
جـ) المجرات العدسية الشكل Lens Shaped Galaxies

وتتميز هذه المجرات بأن شكلها يكون وسطاً ما بين الإهليلجي والحلزوني على شكل قرص، ولكن بدون أذرع حلزونية ويرمز لها بالرمز SO. ولا تحتوي على أي مادة غازية أو غبارية في الوسط البين نجمي كما في الشكل (4 - 12).

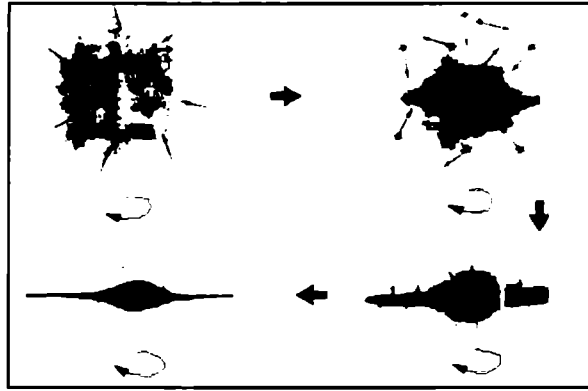
الشكل (4 - 12) يوضح المجرات العدسية

د) المجرات غير المنتظمة الشكل **Irregular Galaxies**

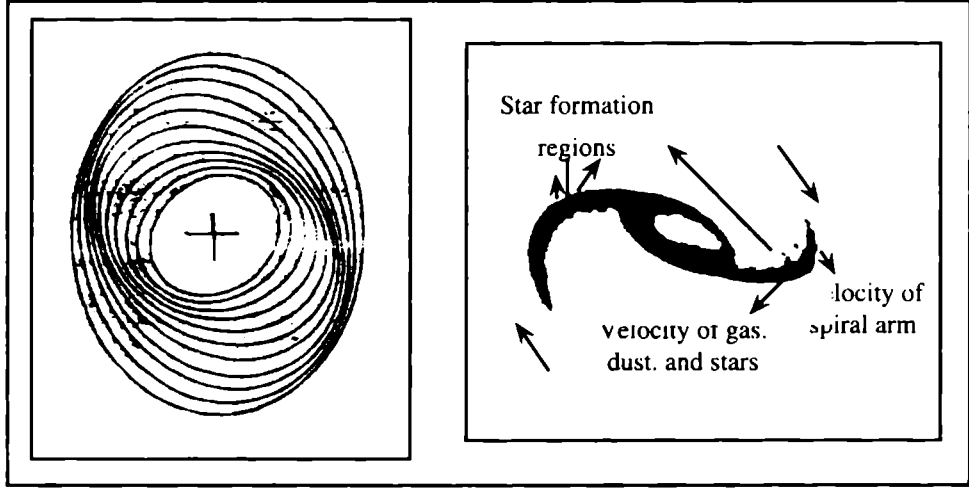
وهي نوعان النمط الأول مثل مجرة ماجلان الكبرى ومعظم نجومها من الجيل الأول من الرتبة B.O وتحوي مناطق الهيدروجين الأحادي التأين (HII) ولها شكل قريب من التركيب الحلزوني كما في الشكل. (5 - 12).

الشكل (5 - 12) مجرة ماجلان الكبرى من النمط الأول

والنمط الثاني تتميز نجومه بأنها خافتة ويصعب تمييزها عن بعض تلسكوبيا ولوحظ وجود غبار وغاز متطاير بسرعة عالية ويطلق أحياناً على هذا النوع المجرات المتفجرة، وليس لها تركيب أو تناظر واضح، إلا أن بعضها يبدو كزوج من المجرات الثنائية المتصادمة مع بعضها كما في الشكل (6 - 12)، والغالبية العظمى من المجرات هي من النوع الحلزوني، اذ تشكّل حوالي 70% من المجرات المكتشفة والمدونة في كتالوجات مسنر وكمبردج، والتي تنقسم بالتساوي بين نوعيها الرئيسين، ويوجد حوالي 20% مجرات إهليليجية بينما الباقي مجرات غير منتظمة.

الشكل (6 - 12) يوضح مجرة غير منتظمة من النمط الثاني

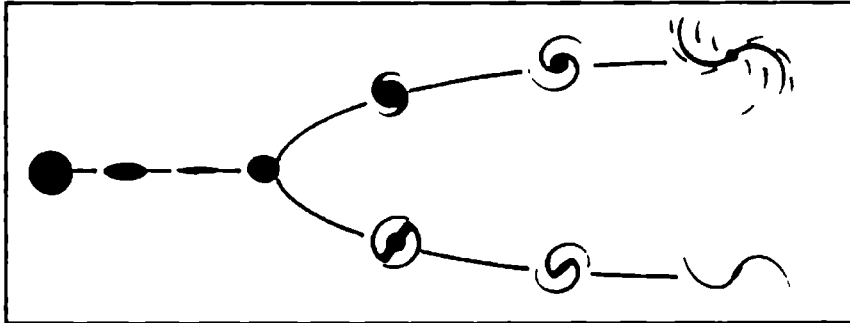
3: 12 تكوّن المجرات الحلزونية

تقترح النظرية السديمية كما في الشكل (7 - 12) أن المجرة البدائية تبدأ كسحابة غازية عملاقة كروية الشكل تدور حول نفسها، أخذت تنكمش تحت تأثير تثاقلها الجذبي الذاتي، حتى تكون لها قرص مجري بعد فترة طويلة، وباستمرار إنكماش السحابة المجرية (جنين المجرة)، تنكمش الأجزاء ذات الكثافة الأعلى من الغاز والغبار بمعدل أسرع لتكون نجوم الجيل الأول (Pop II) ، حيث كانت تتكون بنسبة 75% هيدروجين وحوالي 25% هيليوم، أما العناصر الثقيلة فكانت شحيحة.

الشكل (7-12) يمثل تكون المجرة

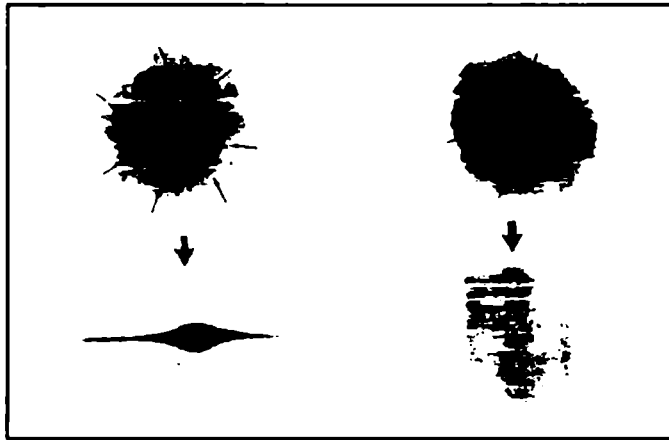
وكان لنجوم الجيل الأول توزيعات شبه كروية (عشوائية) مثل شعب الهالة، وربما يعود ذلك الى عدم إنكماش جنين المجرة إلى ما فيه الكفاية، وعدم اكتمال القرص المجري، ففي المجرات الحلزونية (كمجرة درب التبانة) يعتقد أن معدل تكون نجوم الجيل الأول لم يكن كبيراً، مما ساعد على تكون القرص المجري فيما بعد، ومع استمرار انكماش جنين المجرة وزيادة سرعة دورانها فإن السحابة الغازية الكروية تستمر بالتسطح أكثر فأكثر لتشكّل القرص المجري وربما تختلط السحابة الغازية بالكتل المطرودة من النجوم التي تكونت بداخلها، بنوعيات مختلفة من العمليات الاندماجية النووية، حيث تصبح غنية بالعناصر الأثقل من الهيدروجين والهيليوم، وبعدها تبدأ نجوم الجيل الثاني بالتكون (Pop I) حيث تقع معظم مداراتها في القرص المجري، ويكون محتواها من العناصر الثقيلة أكثر من محتوى نجوم الهالة، ومن المحتمل أن تكون الأذرع الحلزونية قد تكونت في هذه المرحلة، على الرغم أن عملية توليد

اضطرابات موجية كثافية في مادة الوسط البين نجمي ما زالت غامضة جداً حيث ظهرت عام 1960 م أول محاولة ناجحة لتفسير كيفية تكون نماذج الأذرع الحلزونية في المجرة، حيث تفترض نظرية الأمواج الكثافية وجود اضطرابات شبيهة بالموجات الحلزونية في المادة المنتشرة بطريقة متجانسة في القرص المجري (موجات تضاغط وتخلخل) مركزها نواة المجرة كما في الشكل (8 - 12)، حيث تؤثر هذه الموجات على جزيئات المادة (الغاز والغبار)، فتهتز بحركة محددة للأمام والخلف وبنفس إتجاه إنتشار الموجة، لتتكون مناطق ذات تراكيز مختلفة من الغاز والغبار، مما أدى لتشكل النجوم بغزارة عالية في قمم هذه الموجات المنتشرة عبر القرص في مناطق الكثافات العالية، ومعظم هذه النجوم من النوع B,O الساطعة القوية الزرقاء، وهي ذات عمر قصير، ويوجد بين قمم الموجات مناطق متخفضة الكثافة المادية (قاع الموجة)، حيث هناك إمكانية لتشكل نجوم أقل سطوعاً ولذلك تعمر طويلاً، وتدور بضع دورات حول نواة المجرة خلال حياتها، ولذلك نجدها على الأذرع أو بين الأذرع الحلزونية، أي أنها تتوزع بانتظام في مجرة درب التبانة(مثل الشمس). أما بالنسبة لتلك النجوم القوية الساخنة الزرقاء المتكونة على قمم الموجات الحلزونية، فلا تلبث (نتيجة عمرها القصير) طويلاً في أماكنها حتى ترحل بعيداً عن قمة الموجة ولهذا السبب تظهر النجوم الساخنة الزرقاء على الأذرع الحلزونية بغزارة، خاصة إذا كانت المسافة الفاصلة بين الموجات المتتالية قصيرة، مما يسبب خداعاً بصرياً يعطي لتلك المجرات شكلها الحلزوني الدوراني. وتنص النظرية أيضاً على أن التموجات الكثافية تدور حول المجرة من الداخل للخارج بسرعة ثابتة بينما السرعة الزاوية لمادة تقل كلما ابتعدنا عن المركز، ومع مضي الزمن فقد تبدو لنا الأجزاء الخارجية من المجرة وكأنها تتأخر في دورانها، ولكن في الحقيقة فهي تكمل دورة حول المجرة في نفس الزمن الذي تحتاجه الأجزاء الداخلية من المجرة، وتنص النظرية على أن النجوم في الأذرع الحلزونية لها سرعة أكبر من سرعة انتشار الموجات الكثافية وأثناء دوران النجوم حول مركز المجرة تمر هذه النجوم بمناطق الكثافات العالية للمادة، فتبطيء من سرعتها قليلاً، مما يجعلها تميل، لأن تتركز أكثر ما يمكن في الأذرع الحلزونية، ويعتقد العلماء أن الموجات الكثافية الحلزونية في المجرة تنتج إما بواسطة قوة تجاذب تفاضلية (كقوى المد والجزر) من مجرات مجاورة، تولد ضغطاً على قرص المجرة، وقد تنتج عن عدم تناظر قرص المجرة.

الشكل (8 - 12) يوضح تاثير نظرية الأمواج الكثافية الحلزونية على غازات ما بين النجوم

12:4 تطور المجرات

أعتقد الفلكيون لسنوات عديدة ومنهم الفلكي هبل ان الأنواع المجرية المختلفة تمثل مراحل مختلفة من تطور المجرات، حيث اعتقد أن المجرات الاهليلجية تتطور إلى مجرات حلزونية، أي أن كل مجرة بدائية بدأت من سحابة غازية كروية، وبالتدريج أخذت تتطور إلى نموذج مجري كروي من النمط Eo حسب تصنيف هبل، وبمرور الزمن تطورت المجرات الكروية إلى مجرات إهليلجية، وبالتدريج استمرت بالتسطح فتحولت إلى مجرات حلزونية، أو حلزونية عصوية وتنتهي في تطورها لتصل إلى مرحلة المجرات غير المنتظمة كما في الشكل التالي (9 - 12).

الشكل (9 - 12) يوضح تصنيف هبل للمجرات (مخطط الشوكة الرنانة)

وأخيراً تبين فيما بعد أن هذه النظرية غير صحيحة، خاصة بعد أن تم اكتشاف نماذج التجمهرات النجمية التي تحويها المجرات، حيث لا تحتوي أغلب المجرات الإهليلجية وخاصة في الوسط البين نجمي على الغبار الكوني بل يوجد قليل من الغاز، والذي يعتبر ضرورياً لتشكل النجوم الجديدة، فكيف تتطور الى مجرات حلزونية؟ كذلك فإن كلا من المجرات الاهليلجية والحلزونية وغير المنتظمة تحتوي على نجوم قديمة، والتي لها نفس العمر تقريباً بحدود (10^{10}) سنة، وعلى الرغم أن المجرات الاهليليجية تحوي عدداً أكبر من هذه النجوم القديمة الحمراء فتظهر المجرة حمراء اللون، بينما المجرات الحلزونية تحوي النجوم القديمة الحمراء في النواة، والنجوم الزرقاء الشابة والساطعة في الأذرع الحلزونية، فتظهر زرقاء اللون، وتحتوي على الغاز والأتربة بكميات أكبر من الاهليليجية، ولذلك ما زالت تجري فيها عمليات تكوين نجوم جديدة بمعدل أكبر من غيرها، ولذلك يبدو من المعقول أن تتطور المجرات الحلزونية الى اهليليجية، ولكن احتوائها على نجوم قديمة حمراء يجعلها تتساوى في العمر مع المجرات الاهليليجية الأخرى، وعلى الرغم أن المجرات الحلزونية تفوق في عددها المجرات الاهليليجية المعروفة إلا أن بعض الفلكيين يعتقدون أن عدد المجرات الاهليليجية في الكون كله ربما يزيد على عدد المجرات الحلزونية بسبب إحتمال وجود مجرات اهليليجية صغيرة خافتة لم تكتشف بعد. كما ان الدراسات الحديثة تدل على ان الاشكال المختلفة للمجرات تتحدد جزئياً عن طريق العزم الزاوي الدوراني للمجرة البدائية. إذ يعتقد العلماء ان هناك علاقة تربط كمية العزم الدوراني للمجرة البدائية $\vec{L}$ (Initial Angular Momentum) مع تفلطح المجرة. فالمجرات الكروية البدائية كانت تدور حول نفسها ببطيء شديد، فكانت $\vec{L}$ (صغيرة)، ولذلك لم يكن لها ميل للانبساط والتفلطح آنذاك. أما المجرات الاهليليجية فكانت تدور حول نفسها بسرعة متوسطة، فكانت ($\vec{L}$) (متوسطة) ولذلك كان لها ميل للتفلطح والانبساط بدرجة معينة. اما المجرات الحلزونية فكانت تدور حول نفسها بسرعة كبيرة، فكانت $\vec{L}$ (كبيرة) وكان ميلها للانبساط والتفلطح بدرجة كبيرة، فَتكوِّن القرص المجري، وتدل الابحاث الحديثة على أن النجوم الأولية المتكونة من تكاثف الغبار والغاز تدور حول مركز المجرة بشكل مستقل ولا تؤثر على غيرها من النجوم بقوى احتكاكية، ولذلك تبقى طاقتها الكلية محفوظة، مما يمنع تكوّن القرص المجري (فتصبح المجرة إهليليجية)، أما اذا لم تُكوِّن جزيئات الغاز والغبار النجوم في بداية عمر المجرة، فانها سوف تَتصرف كمانع، وستؤثر بقوى إحتكاك داخلية على بعضها،

مما يؤدي إلى ضياع طاقتها، ونتيجة لذلك فإن المادة الغبارية والغازية سَتُمْنَحْ وقتاً كافياً لتهبط الى مستوى قرص المجرة الحلزونية، وبذلك فان النظرية الحديثة تقترح بأن معدل سرعة تكون النجوم الى معدل سرعة إنكماش السحابة المجرية الأولية الى قرص، يتحدد بواسطة الكثافة الأولية للسحابة وبمعدل سرعة دوران السحابة المجرية كما في الشكل (10 - 12)، أما سبب تكون المجرات الحلزونية ذات القضيب فلربما يرجع إلى حالة عدم الاستقرار التي تتولد بصورة طبيعية في القرص المجري الدائم الدوران مما يؤدي لتكون القضيب المتماثل.

الشكل (10 - 12) يوضح اصل المجرات الحلزونية والبيضاوية

(5 - 12) ابعاد المجرات Galactic Distances

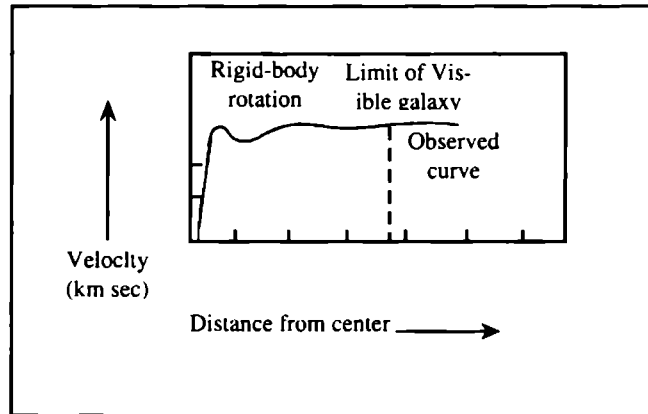
للتعرف على طبيعة المجرات ولتعيين خواصها الأساسية مثل الكتلة، النورانية، الحجم، بالمقارنة بمجرة درب التبانة، لا بد من معرفة أبعاد هذه المجرات ويتم ذلك برصد نجوم السيفيد المتغيرة، وهي نجوم منفردة براقة بشكل كافي بحيث يمكن تمييزها من مسافة تقارب بضعة ملايين بارسك. وتستعمل هذه الطريقة لعدد قليل من المجرات القريبة مثل مجرة اندروميدا (المرأة المسلسلة) وغيرها من المجرات المجاورة. وكما ألمحنا سابقاً فاننا نستطيع تعيين بعد الجرم المضيء اذا علمنا قدره الظاهري والمطلق، وتستخدم في هذه الطريقة علاقة (النورانية – الزمن الدوري) لنجوم السيفيد المتغيرة ويطلق اصطلاح (الشمعة العيارية) على أي جرم ساطع معروف قدره المطلق من مراقبة خصائصه الضوئية. حيث تشمل الشمعات العيارية كل من نجوم السيفيد المتغيرة، النجوم العملاقة الحمراء، النجوم فوق العملاقة

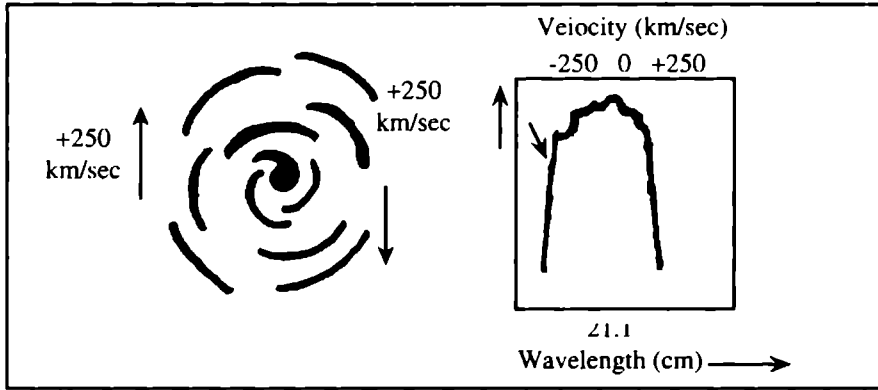
الزرقاء، السوبرنوفا، العناقيد النجمية، ومناطق تأين الهيدروجين الأحادي (HII) والطريقة الثانية المتبعة لتوسيع مدى قياس المسافات، تتضمن تعيين القدر المطلق لألمع نجم في مجرة من نوع معين، وغالباً ما يستنتج ذلك من الرتبة الطيفية (كما في طريقة اختلاف المنظر الاسبكتروسكوبي Spectroscopic Parallax Technique) وقد دلت الدراسات على تماثل اللمعان المطلق (النورانية) للنجوم فوق العملاقة من نفس النوع في مجرات مختلفة لذلك يمكن استخدامها لتعيين مسافات أبعد من تلك التي تحددها نجوم السيفيد، وتستعمل طريقة أخرى تعتمد على الفرضية القائلة، بأنه في أي تجمع نجمي كبير كالمجرة مثلاً سيكون هناك على الأقل نجم واحد من أسطع نجوم المجرة (كالنوفا مثلاً) بحيث أن قدره المطلق لا يتعدى حداً معيناً وهو (M = -8) ، مما يوسع مقياس المسافات المجرية لأكثر مما تحدده نجوم السيفيد.

وهناك طريقة اخرى ثالثة تستخدم فيها السوبرنوفا لقياس مسافات مجرية أبعد، حيث يفترض الفلكيون أن جميع المستعرات العظمى (السوبرنوفا) يكون لها نفس القدر المطلق (M = -21) عند وصولها للسطوع الأعظم، مما يوسع مقياس المسافات المجرية حتى 100 ميجا بارسك. (للمجرات البعيدة).

والعيب الوحيد في هذه الطريقة، أن ظاهرة السوبرنوفا في المجرات تحدث مرة واحدة كل مائة عام، مما يستوجب الانتظار طويلاً حتى يقوم الفلكي بقياس البعد المجري.

وهناك طريقة أخرى رابعة، وتشمل استخدام مناطق HII البراقة، وهنا نفترض بأن السعة المتوسطة لأكبر مناطق HII البراقة في مجرة من نوع معين، ثابتة تقريباً. فاذا تم رصد مناطق HII في مجرة ما، يمكن قياس سعة اقطارها الزاوية الظاهرية لتعيين مسافاتها. ولقد رصدت في مجرة حلزونية (M33) أكبر خمسة مناطق HII فوجد أن متوسط قطرها حوالي (175) بارسك. وهناك طريقة اخرى خامسة وتشمل استخدام خواص عناقيد المجرات ذاتها لتحديد المسافات البعيدة جداً (أكبر من 13 ميجا بارسك) حيث تتبع معظم المجرات مجموعات معينة تسمى عناقيد المجرات حيث يفترض الفلكيون أن القدر المطلق لألمع مجرة في العنقود المجري والتي يمكن تعيينها في العناقيد المجرية القريبة منا سيكون ثابتاً. وعندئذ يمكن استخدامه لتحديد مسافات العناقيد الاكثر بعداً، والتي يكون بعدها حوالي 1000 ميجا بارسك، وتعتبر هذه الطريقة بسيطة من ناحية المبدأ ولكنها صعبة التطبيق، حيث يجب تصويب لمعان المجرات

البعيدة بالنسبة لظاهرة دوبلر، حيث يكون لها ازاحات حمراء كبيرة، فعندما نقيس القدر (V) لمجرة قريبة لها إزاحة حمراء مهملة، فان الضوء الذي نقيسه يكون قد انبعث اصلاً ضمن مدى الأطوال الموجية للمرشّح (V)، بينما عندما نقيس الضوء الصادر من مجرات بعيدة لها ازاحات حمراء كبيرة فاننا نقيس ضوءاً إنبعثَ منها أصلاً عند أطوال موجية أقصر بكثير من مدى الاطوال الموجية للمرشّح (V) المستعمل، ولكنه انحرف نحو الأحمر حتى أصبح ضمن المدى الموجي للمرشّح (V)، وعلى هذا فنحن لا نحصل على قياسات حقيقية للقدر (V) للمجرة البعيدة. ولذلك وجب تصحيح النتائج، كذلك عند مقارنة مجرات بعيدة مع مجرات قريبة، فاننا نقارن في الواقع مجرات حديثة (المجرات البعيدة التي يحتاج ضوؤها للوصول للأرض حوالي 3 بليون عام) مع مجرات قديمة (المجرات القريبة منا). ولذلك وبسبب التغيرات التطورية فان النجوم والسدم التي ترى في المجرات البعيدة قد تختلف اختلافاً منتظماً عن تلك الموجودة بالمجرات القريبة، وهناك طريقة جديدة تدعى بطريقة تولي فيشر Tully - Fisher Method وفيها تعين نورانية المجرة من كتلتها، وتعتبر طريقة واعدة للمجرات الحلزونية ولا تقاس كتلة المجرة مباشرة، ولكن الذي يقاس هو منحنى سرعة دوران المجرة والذي يعقد على كتلتها كما في الشكل(11-12) وتقدّر سرعة دوران المجره من سمك الخط الطيفي الراديوي الهيدروجيني (21 سم) الصادر من المجرة، ويعمل تأثير دوبلر على زيادة سمك الخط الطيفي الراديوي الانبعاثي حسب المدى الأعظم لانتشار السرعات من أحد جوانب قرص المجرة الى الجانب الآخر كما في الشكل (12- 12).

الشكل (11-12) يوضح منحنى السرعة والمسافة للمجرة

ولهذا فإن نورانية المجرة الحلزونية (القدر المطلق)، يمكن استنتاجه من سمك الخط الراديوي (21 سم) الانبعاثي، حيث يحدد بُعدها بقياس قدرها الظاهري ومقارنته بالقدر المطلق، ويفضل استعمال الاقدار المطلقة في مجال الاشعة تحت الحمراء لعدم تأثرها بالغبار المنتشر بين النجوم في المجرة المرصودة.

الشكل (12-12) يوضح اثر دوران المجرة على سمك الخط الراديوي

(12-6) كتل المجرات The Masses of Galaxies

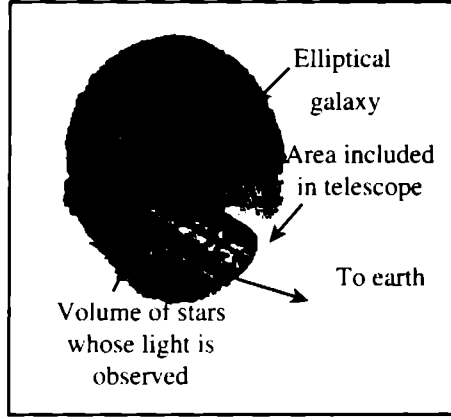
يمكن تحديد كتلة المجرات المجاورة والبعيدة بتطبيق قانون كبلر الثالث على حركة النجوم في مداراتها حول مركز المجرة او حركة غيوم غازية في الأجزاء الخارجية لتلك المجرات المجاورة ، ويتطلب ذلك قياس السرعة المدارية للنجم أو لمجموعة من النجوم الساطعة أو السحب المضيئة، ومعرفة بعدها عن مركز المجرة المجاورة، وتحديد ميل مستوى تلك المجرة بالنسبة لنا على الأرض. وكما مر معنا سابقاً يعطى قانون كبلر الثالث (المعدل) لأي نظام ثنائي على الصوره التالية:

$$(M_1+M_2)p^2=a^3$$

حيث (m_1+m_2) تعبر عن كتلة المجرة المجاورة بالإضافه لكتلة السحابة أو مجموعة النجوم أو النجم المرصود الذي يدور حول مركز المجرة البعيدة، وتقاس السرعات الحقيقية بواسطة الانزياح الدوبلري للخطوط الطيفية. حيث يساعدنا وجود القرص المجري على تحديد اتجاه مستوى المجرات الحلزونية المجاورة.

أما أبعاد النجوم أو السحب عن مجراتها فيمكن تحديده أيضاً بالطرق المذكورة سابقاً. إن

عملية قياس السرعات تتم بدقة كبيرة باستخدام الانبعاث الراديوي ذي الطول الموجي 21 سم، الصادر عن ذرات الهيدروجين، حيث يعتبر امتصاص الضوء الراديوي غير مهم في هذه الحالة، ولقد اعتاد الفلكيون على قياس السرعات المدارية عند نقاط متعددة خلال المجرة ابتداءاً من المركز وحتى الأجزاء الخارجية من المجرة ما أمكنهم ذلك، ثم ترسم النتائج على منحى (السرعة والمسافة) والذي يمكن تطبيقه على المجرات الحلزونية كما في الشكل(6-11) ويدل الخط المتصل على منحنيات السرعة الدورانية الحلزونية، أما الخط المنقط فيمثل الحالة المثالية حينما تتحرك النجوم في الأجزاء الخارجية حركة مستقلة عن الأجرام الأخرى المحيطة بها حول مركز المجرة الثقيل، ويتم تحديد كتلة المركز المجري بواسطة قانون كبلر الثالث.

أما منحنى السرعة عند الحد المرئي من المجرة، فيبدو وكأنه ثابت تقريباً لا ينقص مع البعد مما يدل على أن للمجرة كتلة لا بأس بها خارج حدود الجزء المرئي فيها. وبالنسبة للمجرات الاهليليجية فتستخدم طريقة أخرى تدعى بطريقة تشتت السرعة velocity Dispersion والتي تعزى مباشرة الى كتلة المجرة، حيث تدور النجوم حول مركز المجره الاهليليجية عشوائياً داخل المجرة، وتملك مدى واسع من السرعات ويدعى هذا المدى بتشتت السرعة ويكون هذا التشتت كبيراً بالقرب من مركز المجرة، حيث تتحرك النجوم بسرعات عالية في مداراتها، بينما تتحرك النجوم في الأجزاء الخارجية للمجرة بسرعات صغيرة، وكلما زادت كتلة المجرة كلما زاد تشتت السرعة عند أية نقطة بعيدة عن المركز المجري، ولهذا فقياس تشتت السرعة يقودنا الى استنتاج كتلة المجره كما في الشكل (13-12) ويتم استخراج تشتت السرعة من ملاحظة سمك الخطوط الطيفية المتكونه لمجموعات من النجوم في مناطق مختلفه للمجره، حيث يعتمد سمك هذه الخطوط الطيفيه على محصلة الحركات الداخلية للنجوم الواقعة في المنطقة المرصودة، وبسبب الإنزياح الدوبلري الناتج من حركة بعضها بعيداً عنا أو نحونا على الأرض، فإن سمك الخط الطيفي هو مقياس للسرعة المتوسطة للنجوم الواقعة في المنطقة المرصودة من المجرة.

الشكل (12-13) يوضح تشتت سرعة النجوم في مجرة بيضاوية

وفي حالات الأنظمة المجرية الثنائية (Double Galaxies) يمكن تطبيق قانون كبلر الثالث لوصف حركتهما حول مركز الكتلة المشترك، وايجاد الكتلة الكلية للمجرتين معاً، ولكن مقدار الخطأ في الحسابات يكون كبيراً، حيث زمن دورة أحدهما حول مركز الكتلة المشترك يكون كبيراً جداً (بحدود 10^8سنة).

ومن الصعوبات التي تواجه استخدام هذه الطريقة، معرفة زاوية ميل مستوى مدار أحدهما بالنسبة لنا، ومعرفة بعد النظام الثنائي المجري عنا على الأرض، والأخطاء التي ربما تقع عند تقدير زمن الدوره المدارية لأحدهما، ولكن تبقى الفائدة الأساسية وهي أننا نحصل على كتلة المجره جميعها، وتدل الكتل المجرية المقدرة باستخدام طريقة الانظمة المجرية الثنائية على أنها أكبر قيمة من تلك النتيجة التي نحصل عليها باستخدام الحركات الداخلية للنجوم داخل مجرة ما، ويتضمن ذلك دليلاً على أن معظم المجرات لها هالات ضخمة تحتوي على كميات كبيرة من المادة المجرية، حيث تحتوي هالة مجرة درب التبانة على حوالي 90% من الكتلة الكلية للمجرة. وتدل النسبه بين كتلة المجرة (M) إلى كمية الضوء الصادر عن المجرة ككل (نورانية المجرة L) على المحتوى النسبي لنجوم الجمهرة الأولى (Pop I) ونجوم الجمهرة الثانية (Pop. II)، وبشكل عام فإن المجرة ذات اللون الكلي الأحمر، مع قيمة عالية للنسبة $(\frac{M}{L})$، تعني أن نجوم الجمهرة الثانية هي الغالبة، وإن هذه المجرة من النوع الإهليليجي.

بينما إذا كان لون المجرة الكلي هو اللون الأزرق، مع قيمة منخفضة للنسبة $(\frac{M}{L})$ فإن

ذلك يعني أن بعضاً من نجوم الجمهرة الأولى مختلطة مع نجوم الجمهرة الثانية، ومثل هذه المجرة تكون حلزونية، وتدل الصور الفوتوغرافيه للمجرات الحلزونية (المأخوذة من جانبها) على وجود غيوم غبارية مظلمة، أما تلك (المأخوذة من أعلى لأسفل) فتدل على وجود عدد من مناطق الهيدروجين الأحادي التأين (HII) الساطعة. بينما تلك للمجرات الإهليليجية فتدل على عدم وجود غيوم غبارية أو مناطق هيدروجين متأينة (HII) كما ويوجد الخط الهيدروجيني الراديوي (21) سم في المجرات الحلزونية ونادراً ما يرى هذا الخط الراديوي في المجرات الاهليليجية.

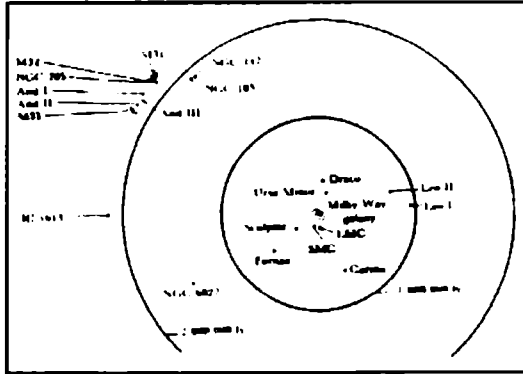
12:7 نورانية والوان واقطار المجرات

كما أشرنا سابقاً، إذا كان باستطاعتنا قياس بعد مجرة ما، فإننا سنتمكن من استخراج نورانية واتساع المجرة مباشرة من قياسنا للقدر الظاهري المرئي والقطر الظاهري للمجرة. وبشكل عام فقد وجد العلماء بأن نورانية المجرات تتراوح بين (10^6 - 10^{12}) ضعفاً من نورانية الشمس، بينما تتراوح أقطار المجرات المختلفة بين (1-100) كيلو بارسك، أما فيما يتعلق بالمجرات الحلزونية فلها نورانيات تتراوح بين (10^{10} - 10^{12}) ضعفاً من نورانية الشمس، أما أقطارها فتتراوح بين (10-100)كيلو بارسك، بينما تمثل المجرات الاهليليجية مدى أوسع من النورانيات والحجوم مقارنة بالمجرات الحلزونية، وتدعى أصغر المجرات الاهليليجية بالمجرات الاهليليجية القزمية (Dwarf EIlipticals)، وتتراوح قيم النسبة بين كتل المجرات الى نورانيتهاالضوئيه $(\frac{M}{L})$ بين (50-200)، فإذا كانت $(\frac{M}{L} > 1)$ فان هذه المجرة تبعث كمية من الضوء لكل وحده كتلة شمسية أقل مما تبعثه الشمس، (أو أن أغلب نجوم هذه المجرة أقل ضياءً من الشمس). وللمجرات الحلزونية فإن الحد الأدنى لقيمة, (1M) ،فإذا كانت قيمة $(\frac{M}{L}=50)$ لمجرة ما، فان ذلك يعني أنه يلزم 50 كتلة شمسية من كتلة المجرة لإنتاج ضياء يعادل نورانية شمسنا، وغالباً تكون $\frac{M}{L}$ للمجرات الاهليليجية أكبر بكثير من $\frac{M}{L}$ للمجرات الحلزونية.

ويتم قياس ألوان المجرات، باستخدام مُرشِّحات ضوئية معينة، لتعيين سطوعها، عند أطوال موجية مختلفة، وبشكل عام فإن المجرات الاهليليجية أكثر احمراراً من تلك الحلزونية، مما يعني ان المجرات الاهليليجية تحوي نسبة أكبر من النجوم الحمراء الباردة، وحتى خلال

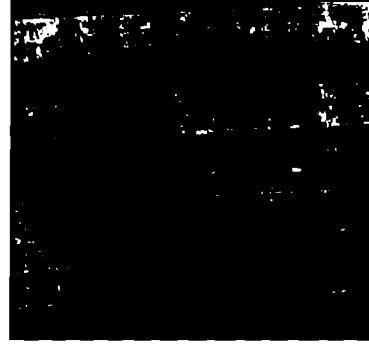
المجرة الواحدة يوجد أيضاً تغير لوني، فمثلاً في المجرة الحلزونية يكون الانتفاخ المركزي أكثر احمراراً من الأجزاء الخارجية للقرص المجري، حيث توجد معظم النجوم الشابة الساخنة.

12:8 العناقيد المجرية (Clusters of Galaxies)

يدل المسح الفوتوغرافي للسماء على ان معظم المجرات تنتمي إلى مجموعات تدعى بالعناقيد المجرية، وأحياناً تميل هذه العناقيد المجرية للتجمع مع عناقيد مجرية أخرى لتكوين العناقيد المجرية العظمى (Super Clusters)، وتحتوي هذه العناقيد عادة على عدد من المجرات تتراوح بين نصف دزينة إلى بضعة آلاف. وترتبط المجرات مع بعضها البعض بقوى الجاذبية، فهي متماسكة نوعاً ما، بينما يدور كل منها حول مركز الكتلة المشترك. ولذلك فدراسة طبيعة هذه العناقيد المجرية تزودنا بمعلومات ذات اهمية كبرى حول بدايات الكون الذي نعيش به، وأول هذه العناقيد المجرية المعروفة تدعى باسم التجمع الموضعي (المحلي) كما في الشكل ,Local Gtoup) (12-14) حيث تعتبر مجرتنا درب التبانة أحد أعضائه، ويمتد هذا العنقود على شكل قرص قطره (800) كيلو بارسك تقريباً، ويحتوي على حوالي 30 مجرة تقريباً معظمها مجرات اهليليجية قزمية موزعة عشوائياً.

الشكل (12-14) يوضح عنقود التجمع الموضعي

ومن بين مجرات عنقود التجمع الموضعي التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة من نصف الكرة الجنوبية (تشيلي مثلاً) غيمتي ماجلان الكبرى والصغرى وهي مجرات غير منتظمة الشكل، والتي يعتبرها البعض أقماراً لمجرة التبانة وأيضاً مجرة اندروميدا الحلزونية الشكل والتي تعرف بالرمز (M31) وتبعد عنا حوالي (700) كيلو بارسك، وأقرب عنقود مجري مجاور لعنقودنا يقع على بعد (1100 كيلو بارسك. وقد وجد العلماء ان النجوم في غيوم مجاور لعنقودنا يقع على بعد (1100) كيلو بارسك. وقد وجد العلماء ان النجوم في غيوم ماجلان تحتوي على نسبة قليلة من العناصر الثقيلة بالمقارنة مع نجوم مجرة درب التبانة، بالإضافة

إلى أن نجوم غيمة ماجلان تبدو وكأنها مكدّسة على بعضها البعض، ويبدو من الصعب دراسة طبيعة التجمع الموضعي بسبب الامتصاص الضوئي الذي يتم في وسط ما بين النجوم، كما أن جزءاً لا بأس به يقع خلف مركز مجرتنا (درب التبانة)، ولذلك فلا يمكننا رؤيته، ومع ذلك فهي تمثل بالنسبة لنا مختبراً مهماً يزودنا بالكثير من المعلومات والأفكار عن التطور النجمي في المجرات، وكما أن هذه المجرات تسمح لنا بمعايرة الطرق المستخدمة لإيجاد أبعاد المجرات البعيدة، ولقد اكتشف العلماء أنواع أخرى من التجمعات المجرية تدعى بالعناقيد المجرية الغنية Rich Clusters of Galaxies ، هذا وأن أقرب عنقود مجري غني يبعد عنا حوالي 19 مليون بارسك باتجاه كوكبة العذراء (Virgo) وتحتوي على 2500 مجرة تقريباً كما في الشكل (15-12)، ولقد قام العالم جورج أوبل (George O. Abell) بتصنيف حوالي 3000 عنقود مجري غني حولنا في كتالوجات خاصة، ويبدو أنه يوجد نفس العدد من هذه العناقيد المجرية الغنية وبالتساوي في أي اتجاه بالكون (توزيع متجانس في الفضاء الكوني الواسع).

وتمتاز العناقيد المجرية الغنية وخاصة الأجزاء المركزية منها بوجود الغالبية العظمى من المجرات من النوع الإهليليجي والنوع SO وأحياناً يتواجد في مركز العنقود المجري الغني مجرة اهليليجية عملاقة، والتي ربما تنتج من التصادمات المجرية ففي مثل هذه التراكيز العالية من المجرات، وعند اقترابها من بعضها البعض كثيراً لدرجة التصادم المباشر تؤثر قوى (المد والجزر) التجاذبية والمتبادلة فيما بينها على بنية المجرات، فتعمل على تشويهها، وتؤدي الى انسلاخ وتشتت كُلاً من الغاز المنتشر بين نجوم المجرة الواحدة بعيداً عنها، والهالة المجرية أيضاً، وتكون النتيجة هي تحول المجرة الى بقايا متجانسة، ولربما تتحول المجرة الحلزونية الى اهليليجية أو إلى النوع الوسط بينهما والمعروفة بالنوع So. وقد يتم ذلك بميكانيكية أخرى، حيث عندما تقترب المجرتان من بعضهما، وأثناء دوران كل منهما حول مركز العنقود الغني، تكتسب المجرة ذات الكتلة الخفيفة طاقة وتتحرك في مدار أوسع، بينما تفقد المجرة ذات الكتلة الأثقل طاقة فتهبط قريباً من مركز العنقود، وبهذه الطريقة تتشكل مجرة إهليليجية عملاقة في المركز (كما يحدث في عملية الترسيب التفاضلي للمعادل في بعض الكواكب).

الشكل (15-12) يمثل عنقود مجري غني

وهناك ميزة أخرى لبعض العناقيد المجرية الغنية وهي وجود وسط غازي ساخن جداً تبلغ درجة حرارته حوالي مئة مليون درجة مطلقة يملأ فضاء ما بين المجرات، ويبعث أشعة سينية، كما دلت الأرصاد الطيفية الحديثة على وجود الحديد بهذا الغاز، بنفس النسبة الموجودة في الشمس وغيرها من الجمهرات النجمية الأولى (Pop I) مما يدل على أن وجوده يعود إلى داخل المجرات نفسها، ولربما تكوّن داخل النجوم الثقيلة التي تطورت وقذفت به الى الفضاء عند نهاية دورة حياتها نتيجة انفجارات السوبرنوفا وغيرها. أو عن طريق الرياح النجمية، أو خلال تصادم المجرات مع بعضها حيث سنحت له فرصة الإفلات الى فضاء ما بين المجرات، ومما جعل العلماء يعتقدرون بإن الوسط الغازي بين المجرات ساخن جداً هو عدم وجود خط امتصاصي في الجزء المرئي من الطيف، كما يحدث عادة في مجرتنا، وفسّروا ذلك بوجود الغاز الساخن والمتأين، حيث لا يحدث امتصاص في مثل هذه الحالة.

أما تعيين كتل هذه العناقيد المجرية فهو مهم جداً لتعيين كتلة الكون وكما أسلفنا سابقاً فيوجد هناك طريقتان وفي كل منهما أخطاء، وهذه مسألة أساسية، فالأولى تتضمن تقدير كتلة كل مجره على انفراد في العنقود من العلاقة العيارية ($\frac{M}{L}$) لأعضاء العنقود، والخطأ هنا واضح حيث ان المجرات التي من نفس النوع ليست جميعها متشابهة، حيث تمتلك المجرات الاهليليجية مدى واسع في الكتلة والنورانية بالإضافة الى ان هذه الطريقة تلغي الكتلة الواقعة في الهالة المجرية والغاز المنتشر بين النجوم، كذلك فإن اتخاذ قيمة عيارية محددة للنسبة ($\frac{M}{L}$) يعني إلغاء عملية التطور النجمي. والطريقة الثانية لتحديد كتلة العنقود المجري، شبيهة

بطريقة تشتت السرعة المستخدمة للمجرات الاهليليجية، وذلك بقياس السرعات المدارية للمجرات في الأجزاء الخارجية من العنقود المجري، حيث تدل الأرصاد على ازدياد سرعتها كلما كانت كتلة العنقود أكبر، وتمتاز هذه الطريقة على غيرها بقياس كل كتلة العنقود، وهناك عوبة في الحصول على منحنى تشتت السرعة للعنقود المجري إذا كان بعيداً جداً، ومع ذلك نحصل على قيمة أكبر، وتمتاز هذه الطريقة على غيرها بقياس كل كتلة العنقود، وهناك صعوبة في الحصول على منحنى تشتت السرعة للعنقود المجري إذا كان بعيداً جداً، ومع ذلك نحصل على قيمة أكبر من الطريقة الأولى، كذلك تعتبر هذه الطريقة غير صحيحة إذا كان العنقود يتمدد فعلاً أو أن بعض مجراته لا ترتبط بقوة التجاذب الحقيقي نحو المركز كما في حالة التجمع الموضعي.

وأخيراً ان الفكرة الراسخة الآن عن العناقيد المجرية العظمى (تجمع لعناقيد مجرية عديدة) أنها حقيقية ولكنها تعتبر ببساطة تجمعات عنقودية عشوائية، وتحتوي على نسبة من المجرات الإهليليجية أكبر بكثير من نسبة وجودها في العناقيد الصغيرة، ولربما تحتوي على أكثر من 3000 مجرة.

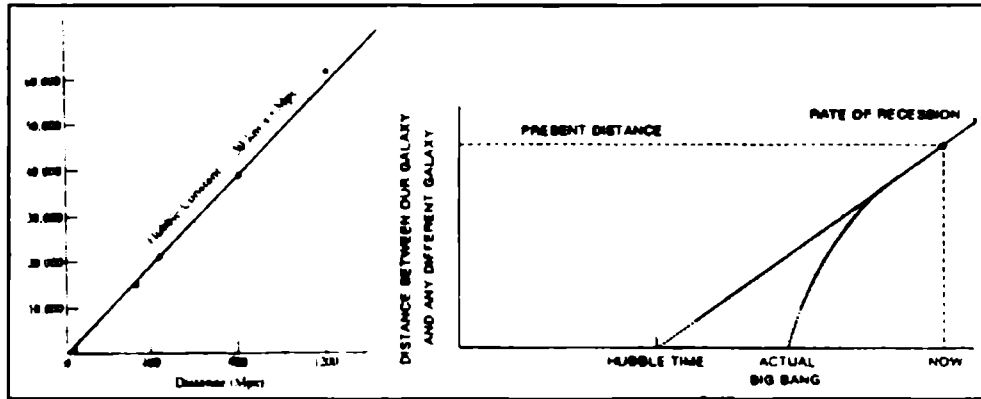
12:9 الخصائص الاساسيه للكون

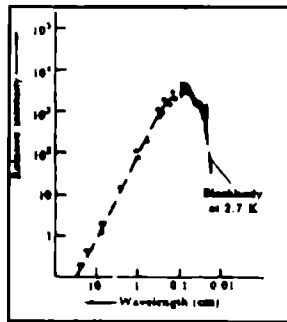
تم في الثلث الأول من القرن العشرين، التعرف على أهم خاصيتين أساسيتين للكون من خلال الأرصاد الفلكية هما: تمدد الكون، وبقايا إشعاع الخلفية الكونيه والناتج عن الإنفجار الكوني الأعظم، فلقد تمكن العالم هبل عام 1929م من ملاحظة ظاهرة ترامي المجرات Recession of Galaxics كما أثبت أن سرعة ارتداد المجرات تتناسب طردياً مع بعدها عنا، حيث وجه تلسكوبه للعديد من عناقيد المجرات البعيدة، وقاس أطيافه، وحللها لإيجاد السرعات القطرية التي تبينها إزاحات دوبلر، فوجد أن معظم خطوط الامتصاص في طيف معظم المجرات البعيدة تزاح نحو الاحمر بشكل منتظم، وإذا كانت الإزاحات الحمراء نتيجة حقيقية للحركة، فإن المجرات يجب أن تكون مبتعدة عنا بطريقة منتظمة، حيث وجد أن مقدار الإزاحة الحمراء تتناسب مع أبعاد المجرات، وأن العلاقة بين السرعة القطرية وبعد المجرات علاقة خطية، لذلك فإن المجرة الأكثر بعداً هي الأكثر سرعة ارتدادية (قطرية)، وبناءً على ذلك استنتج بأن الكون

يتمدد، وحتى نحافظ على المسافات الثابتة بين المجرات خلال التمدد، فإن هذا البعد بينها يجب أن يزداد بمعدل يتناسب طردياً مع المسافات الفاصلة بينها. وبذلك يصبح نص قانون هبل (كلما كانت الإزاحات نحو الأحمر لأطياف المجرات البعيدة أكبر، فإن بعد تلك المجرات يكون أكبر، وكذلك فإن سرعتها الارتدادية تكون أكبر). ويكتب قانون هبل بشكل رياضي على الصورة التالية:

$$v=Hd$$

حيث تمثل (V) السرعه القطرية (الإرتدادية) للمجرة بالكيلو متر/ ثانية، وتمثل (d) بعد المجرة بدلالة (ميجا بارسك)، و (H) ثابت هبل، أن قيمة ثابت هَبِّلْ يعتمد على كل من معدل تمدد الكون، وعلى وحدات القياس المستخدمة لقياس كل من (V) و (d)، مع العلم بأن العلاقة السابقة صحيحة بغض النظر عن المجرة التي ننظر منها إلى الكون، مما يؤكد أن مجرتنا درب التبانة ليست في مركز الكون. ومع ذلك فإن بعض المجرات القريبة التي نرصدها من الأرض لا تخضع لعلاقة هبل، وذلك لأن سرعة ارتدادها، المحسوبة من بعدها وثابت هبل، صغيرة جداً، وذلك لأنه في عنقود التجمع الموضعي تغلب عليها الحركات العشوائية العادية، وهذا يفسر ظهور هذه المجرات القريبةمتحركة نحونا أكثر منها مرتدة.

إن العلاقة التي اكتشفها هبل تعني انه في لحظة ما في الماضي، كانت جميع المادة الكونية متركزة في نقطة، وذات كثافة كبيرة جداً، وربما حدث انفجار كوني عظيم ولذلك نستطيع أن نقدر كم مضى من الزمن على حادثة الانفجار الكوني من قياس معدل تمدد الكون، حيث يظهر من علاقة هَبِّلْ السابقة: أن عمر الكون التقريبي يساوي مقلوب معامل هبل، ونحصل على متوسط قيمة (H) من ميل الخط المستقيم الذي يمثل علاقة المسافة بالسرعة القطرية لأحسن مجموعة مدروسة من عناقيد المجرات كما في الشكل (16-12) ،وتبلغ التقديرات الحالية له ما بين (50-100) كم/ثانيه. ميجا بارسك. ويقدر عمر الكون الحالي بحوالي 18 بليون سنة تقريباً. وهناك معنى أخر مهم لتمدد الكون، وهو إمكانية استخدامه لتحديد الأبعاد المجرية التي لا يوجد لها شمعات عيارية مناسبة.

الشكل (12-16) يمثل منحى هبل لتباعد المجرات

ومع إدراكنا بأن الكون الحالي بدأ حياته كنقطة كثيفة وساخنة جداً، أخذ العلماء يبحثون في الظروف التي كانت سائدة حينئذ، فمثلاً تتنبأ نظرية الإنفجار الكوني الأعظم، بإن هناك; اشعة أصلية أو بدائية primordial ما زالت منتشرة في جميع أرجاء الكون. على الرغم ان عملية التبريد التي تنتج عن التمدد الكوني ستعمل على إزاحة الطول الموجي المقابل لشدة الاشعاع العظمى بعيداً نحو الجزء الملمتري من الطيف. ولقد تمكن الفلكيون عام 1965م من رصد اشعاع الخلفية الكونية والذي يشبه طيفه طيف الاشعة الحرارية لجسم بارد. وكما أكدت الأرصاد الفلكية عند الأطوال الموجية الراديوية القصيرة أن هذا الإشعاع متشابه ومتجانس ومتساوي الشدة في جميع الاتجاهات الكونية، وأنه حقيقة قريب من الإشعاع الحراري (الذي يتبع قانون بلانك) عند درجة حرارة (2.7k) كما في الشكل (12-17) . وكما تم حديثاً قياس سرعة حركة الأرض بالنسبة لإشعاع الخلفية الكونية، ومن الضروري عند قياس إشعاع الخلفية الكونية أن يُبرد التلسكوب مع الاجهزة المرافقة له إلى درجة حرارة منخفضة كي تقوى أشعة الخلفية الكونية أكثر ما يمكن، بسبب أن مادة التلسكوبات عند درجة الحرارة العادية تبعث أكثر إشعاعاتها في منطقة تحت الحمراء، وجزء بسيط في المنطقة الملمترية من الطيف ولذلك يجب التحرر من إشعاع جو الأرض الذي يتداخل مع اشعاع الخلفية الكونية.

الشكل (12-17) يمثل إشعاع الخليفة الكونية

وبالتالي فإنه يجب إجراء المراقبات الدقيقة من خارج نطاق جونا الأرضي وهناك أمل مركز على مقراب هبل الكبير ويأمل العلماء أن يتوصلوا بواسطته إلى حل اللغز الذي مازال غامضا

حول حقيقة الكون هل هو مفتوح أم مغلق؟، لكن هل يمكن لأشعة الخلفية الكونية أن لا تكون متجانسة؟ ربما يكون ذلك بطريقتين: الأولى أن يكون عدم التجانس حقيقي في مجال الأشعة الخلفية الكونية، والثانية أن يكون عدم التجانس عرضية طارئة نتيجة حركتنا في الفضاء، أي من خلال حركتنا حول مركز المجرة، ثم حركة المجرة في التجمع الموضعي، أو حركة الأخير في العنقود الأعظم كل هذه الحركات قد تعطي للراصد حركة نسبية الى أشعة الخلفية الكونية. فحركة المشاهد باتجاهها تؤدي إلى انزياحها نحو الازرق فتظهر اسخن في ذلك الإتجاه مما هي عليه في اتجاه آخر، أما حركة المشاهد بعيداً عنها فؤدي إلى إنزياحها نحو الأحمر فتظهر له أبرد مما هي عليه في اتجاهات اخرى.

أما عدم التجانس الذاتي في شدة هذه الاشعة فربما ينتج من عدم تجانس الانفجار الكوني الأعظم بالاتجاهات المختلفة، مما يجعل بعض المناطق في الفضاء ذات حرارة وكثافة مادية أكبر من حالة مناطق أخرى وفي اتجاهات أخرى، وهذا يتناقض مع المبدأ الكوزمولوجي، الذي ينص على أن الكون يبدو على نفس الصورة لكافة الراصدين على جميع المجرات. كما أنه إذا كان هناك حد للكون (ولم يثبت ذلك بعد) فإن عدم التجانس في شكل الكون، سيظهر لنا في ذلك الاتجاه. ولقد تمت في السنوات الماضية اكتشافات فلكية مهمة تتعلق بوجود أجرام تحتوي على مصادر طاقة هائلة من بينها الكواسار عام 1960 م. حيث حاول العلماء إيجاد بدائل لتفسير الإنزياح نحو الأحمر للمجرات البعيدة، ومن بين تلك التصورات التي طرحها العلماء فكرة الضوء المتعب، الذي تَفْقِدُ فيه الفوتونات طاقتها عندما ترحل من مصدرها إلى الراصد على الأرض. وهناك فكرة أخرى تعتبر امتداداً لمبدأ ماخ، وهو أن كتلة الألكترون تزداد مع الزمن، ولما كانت طول موجة الفوتون المنبعث عن ذرة الهيدروجين تتناسب تناسباً عكسياً مع كتلة الألكترون، فإن الإشعاع الصادر في وقت كانت فيه كتلة الالكترون صغيرة، سيكون طوله الموجي كبيراً، ولا يوجد حالياً دليل واحد على صدق هذه الاقتراحات، ولكن لكون الكواسارات لغز صعب على الفهم، فإن العلماء ينقادون أحياناً إلى تفسيرات متطرفة جداً. وسنقدم وصفاً لبعض الأجرام الواقعة على أبعاد مجرية هائلة.

12:10 المجرات البهية Peculiar Galaxies

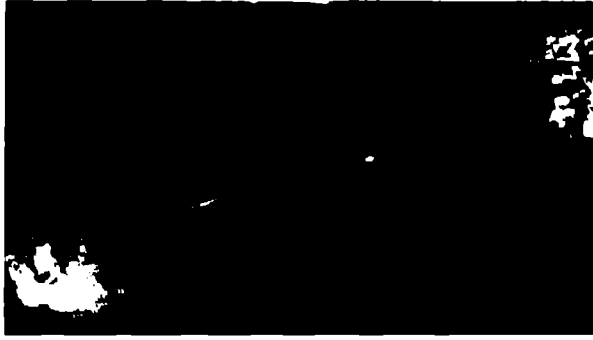
لوحظ أن نسبة قليلة من المجرات في السماء ليست ذات شكل مألوف كما أن خصائصها غير عادية دعيت بالمجرات المتفجرة (البهية)، لظهور انفجارات عنيفة فيها من خلال التلسكوبات الراديوية، وتشع هذه المجرات عادة ضوءاً مرئياً، إلا أنها عند انفجارها تشع

كميات كبيرة من الطاقة في مجال الأشعة الراديوية وتحت الحمراء والأشعة السينية. إن هذه الكمية الهائلة من الطاقة لا يمكن إنتاجها من التفاعلات الإندماجية النووية التي تتم في نجوم المجرات العادية. ولقد تم الحصول على بضع مئات من الصور الفوتوغرافية التي تدل على شبه اصطدامات بين المجرات (اقتراب مجرات من بعضها البعض)، كما في الشكل (18-12).

ويعتقد العلماء أن احتمال حدوث اصطدامات مجرية هي أكثر من احتمال وقوع اصطدامات بين النجوم، كما أن اصطدامات النجوم ببعضها البعض نادرة، بسبب أن متوسط المسافات الفاصلة بين النجوم أكبر بكثير من حجوم تلك النجوم. ولم يشاهد العلماء أي تصادم بين النجوم منذ أن أخترع التلسكوب ولكن المسافات الفاصلة بين المجرات أكبر فقط بحوالي عشر مرات من قطر أية مجرة عادية كمجرة (المرأة المسلسلة). ويتمكن علماء الفلك من معرفة المجرات المتصادمة من غيرها، بملاحظة أن عدد نجومها هي ضعف عدد نجوم المجرات العادية، وكما نتوقع فإنه نتيجة للفراغ الكبير بين نجوم كل منها، فإن نجومهما تمران عبر بعضهما البعض دون أن يصطدم نجم بنجم آخر، وإنما يحدث الإصطدام بين السحب الغازية والترابية للمجرتين ويرافق ذلك انتشار طاقة هائلة، وتقوم السحب القوية والسريعة الحركة بجرف قسم من سحب المجرة الثانية معها، وإذا تساوت قوتهما تفقد المجرتان غازهما وغبارهما الكوني نتيجة تفاعل هذه السحب المجرية، وينتج عنه توهجات كبيرة، بسبب سرعة الاصطدام والتداخل (1000 كم/ ث)، وينطلق من المجرتان طاقة راديوية هائلة. وقد يؤدي تكرار عملية التصادم بين المجرات إلى خلو بعضها من الغاز والغبار المنتشر بين نجومها تدريجياً الى درجة تؤدي الى توقف تشكل النجوم في مثل تلك المجرات. ولو اصطدمت مجرتنا درب التبانة مع مجرة أخرى، فلربما لن يحدث اي شيء لحياتنا على الأرض، وقد تتداخل المجرتان عبر بعضهما البعض بلطف دون أن تتلامس نجومهما.

الشكل (18-12) يمثل المجرات البهيّة (تصادم المجرات)

12:11 المجرات الراديوية (Radio Galaxies)

وهي مجرات تبعث جزءاً كبيراً من طاقتها في المنطقة الراديوية من الطيف وقليل من طاقتها يكون في المجال المرئي، ولذلك يكون حجمها وسطوعها عظيماً في حيز موجات الراديو، فمثلاً لا تعتبر مجرة درب التبانة مجرة راديوية لأنها تبعث كميات قليلة جداً من طاقتها في الحيز الراديوي من الطيف، بينما معظم طاقتها تكون في الحيز المرئي. ومعظم هذه المجرات إهليليجية الشكل. مثل مجرة الدجاجة أ (Cygnus - A) كما في الشكل (12-19)، وتعتبر المجرة الثانية من حيث الشدة بعد سديم السرطان (جرم في فضاء مجرة درب التبانة)، ويقدر سطوع مجرة الدجاجة بحوالي 10^{38} واط في الحيز الراديوي، أي أكثر بعشر مرات من السطوع الكلي لمجرة درب التبانة على مختلف الأطوال الموجية، وأكثر من مليون مرة من سطوع مجرة درب التبانة في الحيز الراديوي. ويرمز لها في قائمة كمبرج بالرمز (3C405) حيث يأتي ترتيبها (405) في تلك القائمة.

الشكل (12-19) يمثل مجرة الدجاجة أ الراديوية

إن الخارطة الراديوية لمعظم مجرات الراديو القوية الإشعاع لها هيكلية ثنائية مميزة فهي تتألف من مجرة مرئية (غريبة)، ومصدرين للبث ينتشران حولها في اتجاهين متعاكسين في سحب سديمية على شكل فصوص (Lobes)، وهذه السحب عالية التأين، شديدة الحرارة وسريعة الحركة، وهي المصدر الفعلي لبث الإشعاعات الراديوية وليست المجرة المرئية نفسها، كما في الشكل. (12-20).

ويفسر علماء فيزياء الكون هذه الظاهرة بإن انفجاراً هائلاً قد حدث لهذه المجرة المرئية،

بحيث قذفت جزءاً كبيراً من مادتها بقوة كبيرة في سحب عالية التأين باتجاهين متعاكسين، ويقدر اتساع المنطقة الباعثة للإشعاعات الراديوية، بالمسافة الفاصلة بين مجرة درب التبانة ومجرة (M31). أما طبيعة هذه الاشعة فتشبه الأشعة السنكروترونية، والناتجة عن حركة الإلكترونات ذات الطاقة العالية في مسارات حلزونية في المجال المغناطيسي المحيط بالمجرة، حيث تبعث هذه الإلكترونات طاقة كبيرة نتيجة لتسارعها، وهذه الأشعة مستقطبة، ولها مدى واسع من الأطوال الموجية الراديوية، والتي تزداد شدتها وطاقتها مع التردد بانتظام وتستخدم وحدة (جانسكي) لقياس طاقة الأمواج الراديوية من هذه المجرات حيث (جانسكي = 10^{-26} واط / م^{2} / هرتز) والبعض من المجرات الراديوية تعتبر مصادر للاشعة السينية ولجاما وللأشعة تحت الحمراء، وتدعى أحياناً بإسم المجرات الفعالية Active Galaxies. والتي يمكن تصنيفها إلى مجموعتين: هما المصادر المجرية الراديوية ذات الهيكلية الثنائية، والنوع الثاني يدعى بالأنوية المجرية الفعالة (مثل مجرات سيفرت) ومعظم المجرات الراديوية بعيدة جداً عن مجرة درب التبانة، وتبتعد عنا بسرعات إرتدادية كبيرة، ولهذا فإن خطوطها الطيفية تنزاح نحو الأحمر.

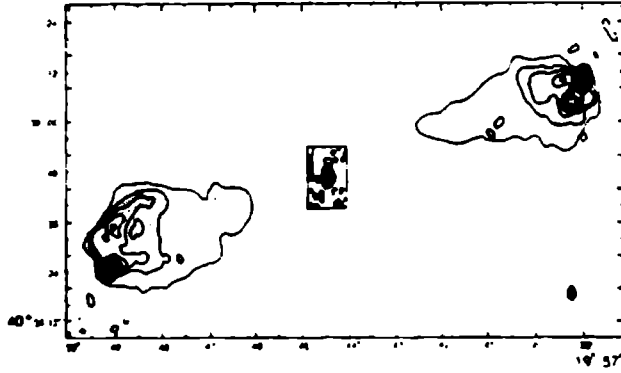
ويعرف الإنزياح نحو الأحمر Red Shift بأنه الانزياح في الطول الموجي للخط الطيفي للجرم المتحرك مقسوماً على الطول الموجي للخط الطيفي للجرم الساكن.

وبالرموز :

$$Z = \frac{\Delta \lambda}{\lambda o} = (\frac{\lambda - \lambda o}{\lambda o})$$

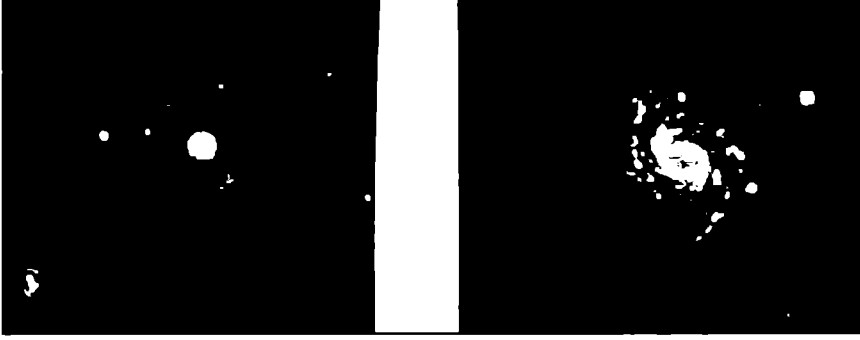
ولإيجاد سرعة المجرات البعيدة (V) تستخدم المعادلة التالية

$$V = \frac{C[(Z+1)^2 - 1]}{[(Z+1)^2 + 1]}$$

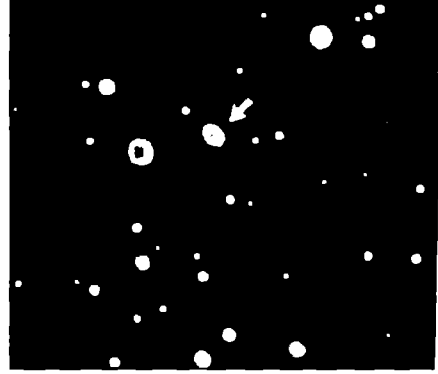
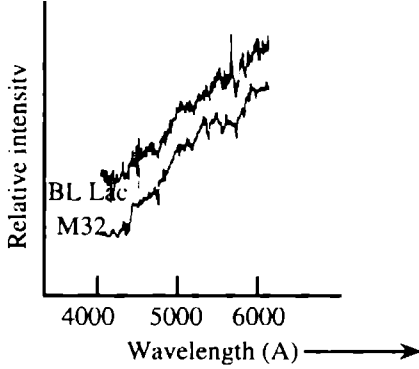
حيث تمثل C سرعة الضوء وتمثل (Z) مقدار الانزياح نحو الأحمر ولإيجاد بعد المجرات البعيدة يستخدم قانون هبل والمعطى بالعلاقة السابقة .(V=Hd)

الشكل (12-20) يمثل خارطة راديوية لمجرة راديوية

12 :12 مجرات سيفرت (Seyfert Galaxies)

وتظهر على هيئة مجرات حلزونية عادية، ولكنها ذات أنوية صغيرة ساطعة بشكل غير عادي بلون أزرق، ويتغير سطوعها الضوئي بشكل دوري، وتدل أطيافها على وجود خطوط إنبعاثية عريضة وقوية من سحب غازية متأينة وساخنة ومتحركة بسرعات عالية بشكل هائج، ومعظم هذه المجرات مصادر ساطعة في حيز الأشعة تحت الحمراء، وحوالي 10% منها مصادر راديوية، وعلى الأقل يكون إحداها مصدر قوي للأشعة السينية.

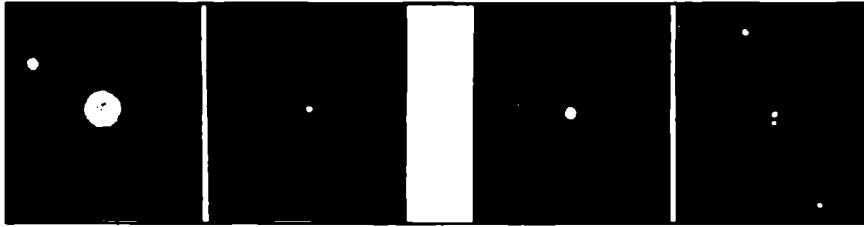
وتدل الدراسات الحديثة على أن احتمال وجودها بين المجرات الثنائية المتصادمة أكبر بثلاثة أضعاف من احتمال وجودها بين المجرات المنعزلة، وكما أن حوالي 25% منها له أشكال غريبة مما يدل على وجود قوى المد والجزر بينها وبين المجرات الأخرى المجاورة، مما يجعل أنوية مجرات سيفرت تبث نشاطاً اشعاعياً قوياً، وتدل الإحصائيات أن حوالي 2% من المجرات الحلزونية تكون علي شكل مجرات سيفرت، وليس لها أطياف امتصاصية معقدة، ويعتقد علماء فيزياء الكون أن جميع المجرات الحلزونية تمر بهذا الطور (مجرات سيفرت) خلال دورة حياتها، أي أنها مرحلة متوسطة خلال تطور المجرات، وواضح أن شكل نواة مجرتنا القريبة وما يحدث فيها من فعاليات يدلل على صحة هذا الرأي، كما في الشكل. (12-21).

الشكل (12-21) يوضح مجرات سيفرت.

12:13 اجرام الورل (بل لاك) (BL. Lacobjects)

وهي مجرات إهليليجية ذات أنوية صغيرة وساطعة جداً، واقعة في كوكبة (Lacerta) وفي عام 1968م اكتشف الفلكيون بإن هذه الأجرام ما هي إلا مجرات بعيدة، ذات مصدر راديوي مركزي قوي جداً، مثل المجرة المعروفة (M87) والواقعة في العنقود المجري (العذراء) (Virgo Cluster) ولها نواة غريبة الشكل، قوية السطوع ومرئية في المجالات البصرية، والراديوية، والسينية، وتدل الصور التي التقطت لها على وجود نفثات من المادة ناشئة من النواة وتمتد لمسافة 1500 بارسك. وتبعث هذه المواد المقذوفة الأشعة السنكروترونية، ولقد وجد العلماء ان كثافة النجوم في أنوية هذه المجرات كبيرة، وإن سرعة دوران هذه النجوم عالية جداً، كما أن إزاحاتها نحو الأحمر صغيرة نوعاً ما. وإذا كانت هذه النجوم ترتبط بالجاذبية فإن كتلة النواة يجب أن تكون كبيرة جداً، وتقدر بحوالي (5×10^9) كتلة شمسية ولذلك يمكن أن تشكل بقعة سوداء، حيث تسقط فيها المادة لتسخن وتتوهج بشكل كافي لتوفر الطاقة اللازمة للمجرة الراديوية كما في الشكل التالي (12-22)

الشكل (12-22) يوضح اجرام الورل (بل لاك) الراديوية

12:14 الكوازارات (Quasars)

أن الكوازارات أو الأجرام التي لها مواصفات النجوم Quasi Stellar Objects كما ترى من خلال التلسكوبات العملاقة تظهر كنجوم زرقاء ساطعة جداً تحيط بها هالة من سدم غبارية ساطعة أيضاً، والعديد منها يُظهِرْ هيكلية ثنائية في بثه الراديوي، حيث يعتبر النجم الساطع والسحاب المقذوف إلى خارجه هما مصادر الطيف الراديوي. وتدل أطيافها على وجود إزاحات نحو الأحمر بدرجة كبيرة لم يسبق لها مثيل، والتي إذا كانت نتيجة لتأثير دوبلر فإنها تدل على سرعات ابتعادية تتراوح بين 16% إلى 92% من سرعة الضوء وهذه أكبر بكثير من سرعة المجرات البعيدة المعروفة حتى الآن. وتتميز هذه الأجرام بسرعة تغير بريقها، فالكوازار (3C279) يتضاعف بريقه 16 مرة خلال العام. إن سرعة التغير في البريق الضوئي للكوازار، يدل على أن مصدر السطوع صغير جداً في حجمه، ولذلك تعتبر أنوية مجرية فعالة كما في الشكل (12-23)، وتدل الدراسات الحديثة على أن حوالي 10% من الكوازارات هي مجرات راديوية، كما أن سطوعها على موجات الراديو أو المرئية أكبر بكثير من سطوع مجرات سيفرت، وهذا يتطلب طاقة عظيمة لا يعرف العلماء كنهها بعد، أما الحجم الحقيقي للكوازار فيمكن تقديره من سرعة تغير بريقه الضوئي، فإذا كانت الإشارة الراديوية القادمة من الكوازار تتغير بمعامل قدره (5) أضعاف ثم يعود بعدها إلى سطوعه الأصلي كل شهرين مرة، فيمكننا الاستنتاج بأن حجم المنطقة الباعثة للإشارات الراديوية لن تكون أكبر من شهرين ضوئيين، وأما طيفه فهو مجموعات غامضة من طيف متصل بالاضافة إلى بعض خطوط الانبعاث القوية العريضة، وهي ذات انزياح كبير نحو الاحمر، ويوجد خطوط طيفية امتصاصية معقدة عريضة، وذات إزاحة نحو الأحمر صغيرة بالمقارنة مع خطوط الانبعاث (لماذا)؟ والتي

ربما تكون ناتجة من الهالات المجرية المنتشرة بيننا وبين الكوازارات، بحيث اذا كان الإمتصاص يحدث في سحب مقذوفة نحو الأرض فان مقدار الإنزياح نحو الأحمر سيقل، لأن السرعة النسبية بين مصدر الاشعاع والمشاهد سيكون أقل، أما إذا كان الامتصاص ناتج في هالات تلك المجرات القريبة منا (والواقعة بيننا وبين مصدر الاشعاع) فإن مقدار الانزياح نحو الأحمر المتوقع سيكون أقل ايضاً، لأن سرعة ابتعاد هذه المجرات القريبة عنا قليلة، ولو كان الانزياح نحو الأحمر لخطوط الانبعاث ناتج عن سبب آخر غير الانزياح الدوبلري الكوني، فاننا سنواجه أوضاعاً أخرى تكون فيها خطوط الامتصاص الطيفي عند أطوال موجية أكبر، والذي لم نصادفه حتى هذه اللحظة. أما سبب كون الخطوط الطيفية عريضة فهي بسبب الحركات الداخلية لمصادر البث والتي تقارب سرعاتها بضعة آلاف من الكيلومترات في الثانية الواحدة، إن أية محاولة لفهم طبيعية الكوازارات تتطلب منا فهم سبب الانزياح نحو الأحمر. فإذا كان السبب (تمدد الكون) فان الكوازارات تكون أبعد بكثير من المجرات البعيدة جداً عنا. فالضوء الواصل منها يكون قد استغرق زمناً طويلاً، أي أننا نراها كما كانت في مرحلة مبكرة من عمر الكون (الزمن الماضي)، أما إذا كان سبب الانزياح غير كوني، فان معرفة العلماء الفيزيائية تعتبر غير مكتملة بعد.

الشكل (23-12) يمثل كوازار

إن جميع الادلة العلمية الموجودة حالياً، تفضل السبب الكوني للانزياح نحو الزحمر، كما أن الأجرام الأخرى مثل مجرات سيفرت وأجرام بل لاك (الورل) تظهر وكأنها ترتبط بالكوازارات، فلقد وُجد بعضها في عناقيد مجرية، لها نفس مقدار الانزياح نحو الأحمر للكوازارات. مما يدل على أن الكوازارات تقع على ابعاد كوزمولوجية (كونية)، وكما انها تعتبر مصادر للأشعة السينية فإن نورانية الكوازارات اكبر بكثير من نورانية المجرات القوية اللمعان بحوالي 100 الى 1000 ضعفاً، وأطيافها معقدة كما ذكرنا، ولكنها تحتوي على خطوط انبعاثية وامتصاصية لغازات الهيدروجين والهيليوم وغالباً الكربون والنيتروجين والأكسجين.

ومن الاقتراحات التي قدمها علماء فيزياء الكون، لتفسير مصادر الطاقة في الكوازارات،

فتدور حول احتمال تصادم المادة مع ضد المادة، والذي يقود إلى فناء المادة المجرية كلياً، وإنتاج إشعاعات كهرومغناطيسية قوية. كما اقترح بعضهم حدوث سلسلة من إنفجارات السوبرنوفا، والذي يساعد على تفسير الزيادة السريعة في تركيز العناصر الثقيلة، والتي تكونت في مرحلة مبكرة من حياة معظم المجرات أو وجود بقعة سوداء ثقيلة جداً تنتج طاقة كافية لإضاءة الكوازار، ولربما يكون هذا التصور الأخير هو الأكثر قبولاً لدى العلماء. وأخيراً نقول بأنه اعتماداً على مقدار الانزياح نحو الأحمر المرصود للكوازارات، يبدو أن الكون يتغير مع الزمن وربما كانت الكوازارات ظاهرة من الزمن القديم، ولربما تكون غير موجودة في كوننا الحاضر الآن، لأن أية شمعة عيارية تصرف طاقة هائلة بهذا الشكل لا يمكن أن تعمر طويلاً ولذلك فهي تتغير مع الزمن، وتصبح عندنا موضع شك، لأننا لا نملك طريقة معينة لنعلم فيما اذا تغيرت النورانية لهذا الكوازار. ولهذا فالمسافة التي نقدرها اعتماداً على نورانية هذه الشمعة العيارية (المتغيرة) غير دقيقة.

أسئلة الفصل الثاني عشر

1 - عرف ما يلي: المجرة، العنقود المجري، المجرات البهية، المجرات الراديوية، مجرات سيفرت، الكوازار؟

2 - ما هي أنواع المجرات حسب تصنيف هبل؟

3- أُخذت صورة فوتوغرافية لمجرة بيضاوية (إهليليجية) بواسطة تلسكوب بصري، فكان محورها الطويل (3.0) سم ومحورها القصير (2.5) سم، ما رمز هذه المجرة حسب تصنيف هبل.

4 - ما مدى تفاوت المجرات في نورانيتها وألوانها؟

5 - ما المقصود بالنسبة ($\frac{M}{L} = 10$) لإحدى المجرات وما هي المعلومات التي يمكن أن تزودنا بها؟

6 - إفرض أن مجرة قد صنفت حسب نظام هبل من النوع (E5) أحسب طولها وعرضها بأي وحدة مناسبة؟

7 - قارن بين المجرات الراديوية والمجرات العادية؟

8 - ما المقصود بثابت هبل وما أهميته للفلكيين؟

9 - لماذا تتباعد المجرات عن بعضها البعض وهل يعني ذلك أننا في مركز الكون؟

10 - ما الدليل على ان الكوازارات أصغر حجماً من المجرات؟

11 - ما المقصود بعنقود التجمع الموضعي للمجرات؟

12 - إذا علمت ان ثابت هبل (H) يساوي (20) كم / ث لكل مليون سنة ضوئية فما هي سرعة ارتداد المجرة على بعد (20) مليون سنة ضوئية؟

الفصل الثالث عشر

أصل الكون

Cosmology

13:1 تمهيد

كان الناس وما زالوا يتسائلون عن بداية خلق الكون في مراحله الأولى، وهل لهذا الكون بداية محددة ونهاية محددة، وما هو شكل الكون؟ ولقد سجل عقد الثمانينات نتائج ومعارف جديدة غاية في الأهمية في ميدان علم أصل الكون (علم الكوزمولوجي) الذي يهتم بدراسة نشأة الكون وتركيبه الحالي، وتطوره ومصيره النهائي، ويقوم الفلكيون ببناء فرضيات تدعى نماذج كونية Cosmological Models والتي تحاول أن تفسر وجود الكون وكيف يتغير مع مرور الزمن وماذا سيحدث له مستقبلاً.

ان هذه النماذج الكونية يجب ان تكون متوافقة مع خواص الكون التي تمت ملاحظتها عملياً، والتي تتعلق بترامي المجرات والعناقيد المجرية وتفسير محيرة أولبر Olbers Paradox والتي يمكن أن تُسمى بشكل أفضل مشكلة (سماء الظلام الليلي) والناجم عن الإشعاع الكوني وتفسير الوفرة غير الطبيعية من الهيليوم والديوتيريوم.

وتختلف النماذج الكونية عن التفسيرات الدينية للكون بشيء اساسي، وهو عدم إعطاء أي دور لقوى خارقة للطبيعة (كقدرة الله سبحانه وتعالي) في عملية خلق الكون، ولكنها تحاول تفسير مثل هذه الاحداث إعتماداً على قوانين الطبيعة فقط. ولذلك فان أية محاولة لتفسير طبيعة ونشأة هذا الكون يجب ان تعلل ظاهرتين اساسيتين على الأقل وهما:

أ) ظاهرة الانزياح نحو الأحمر الكوني لضوء المجرات البعيدة والكوازارات وغيرها :

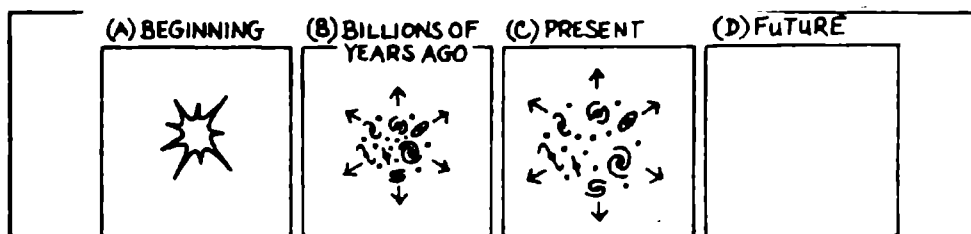
وتعزو النظرية الحديثة هذه الظاهرة الى ظاهرة دوبلر، والتي تدل على ابتعاد المجرات عنا، وكلما كانت المجرة أبعد منا، كانت سرعة ابتعادها عنا اكبر، وانزياح اطيافها نحو الأحمر أكبر وأكبر (أي أن الكون يتمدد ويتوسع)، وهذا ما أكده العالم ادوين هبل الذي امضى معظم حياته وهو يدرس المجرات، حتى تحقق من العلاقة بين سرعة ارتدادها وبعدها عنا. ولمّا كانت دراسة أصل الكون قد تصبح قضية فلسفية اكثر منها قضية علمية، فإن هناك بعض الأسئلة حول ماهية الكون والتي لها اجابات موضوعية عند العلماء، شريطة صياغة بعض الافتراضات الواضحة والمنطقية منذ البداية. وأول فرضية أساسية نتفق عليها ونحن نحاول فهم الكون تدعى (بالمبدأ الكوزمولوجي)، والذي ينص على ان الكون على المدى الواسع واحد متشابه في

كل مكان عند اية لحظة زمنية محددة، وينص أيضاً على ان الكون متجانس التركيب، متساوي في مظهره في جميع الاتجاهات، كما ان الفضاء المجاور لنا على الأرض ليس بالفضاء الخاص المختلف عن غيره، ومما يدل على ذلك ان عدد المجرات المبتعدة عنا متساوية في جميع الاتجاهات من حولنا تقريباً (طبعاً لا يعني ذلك أننا في مركز الكون).

وهذا مهم جداً، لأننا ندرك ان اي جزء صغير من هذا الفضاء الذي نراه يمثل حقيقة بقية اجزاء الكون الذي لا نستطيع رؤيته، وتتيح الفرصة لنا لكي نُكوّن نظرية تفسر الكون كله.

13:2 نموذج الانفجار الكوني الأعظم (The Big Bang Theory)

تعتبر احد النماذج الكوزمولوجية المهمة، ولقد اقترحها اولاً الفلكي البلغاري جيورجي لي بهتر في عام 1927م. وتنص النظرية على أن الكون قد بدأ نتيجة انفجار كبير قبل حوالي 18 بليون عام خلت، حيث كانت جميع المادة المنتشرة في الكون حالياً، متراصة ومتجمعة معا وبكثافة عالية، وكانت درجة حرارتها ساخنة جداً. ويشار الى هذه الحالة بالكرة النارية البدائية Primeval Fire Ball وانفجرت هذه الكرة الساخنة ذات الكثافة العالية بانفجار هائل مدوي.

وطبيعي إن هذا الانفجار قد ملىء كل الفضاء، ولم يكن باستطاعة احد أن يراه من خارجها، ويعتقد العلماء بأن اول ما تكوّن الدقائق الأولية (الكواركس، الالكترونات، البروتونات، النيوترونات)، ثم تكونت أنوية عناصر بسيطة مثل الهيدروجين العنصر الشائع في الكون نتيجة اقتراب البروتونات والالكترونات نحو بعضها، وتكون الديوتيريوم ثم الهيليوم وانتشرت جميعها في الفضاء، وبسرعات ضخمة، ومنذ ذلك الوقت فان التفاعلات بين المادة والاشعاع قد توقفت بشكل رئيسي. ولكن مع اندفاع المادة الى الفضاء وتمددها، بردت تدريجياً، وبعدها ببضعة ملايين من السنوات، تكاثفت هذه السحب الهيدروجينية لتشكل النجوم الثقيلة والمجرات المختلفة في نفس الوقت كما في الشكل (1-13).

الشكل (1-13) يوضح نظرية الانفجار الكوني الاعظم

واستمر الكون في الاتساع التدريجي بفضل استمرار تباعد المجرات بعيداً عن بعضها البعض الى يومنا هذا، واليوم كما تدل الأرصاد الحديثة ما زال الكون يتمدد، وما زالت النجوم تتشكل داخل المجرات من الهيدروجين الأصلي الناتج عن الانفجار الكوني الأعظم، وفي المستقبل سوف يستهلك جميع الهيدروجين الاصلي في بناء النجوم، وربما تتوقف النجوم والمجرات عن إصدار ضوئها الى الفضاء، ولا تعود تسطع كما كانت، وسيتحول الكون الذي ابتدأ بانفجار كوني هائل الي كون خافت يعمّه الظلام الدامس مصحوباً ببرودة شديدة اذا استمر الكون في تمدده للأبد.

13:3 نظرية الكون الاهتزازي (Oscillatory Theory)

والنموذج الكوزمولوجي الثاني يدعى بنظرية الكون الاهتزازي، وتنص هذه النظرية على ان الكون قد بدأ بانفجار كوني أعظم، ولكنه لن يستمر في تمدده للأبد، وفي ازمنة مستقبلية ستقوم الجاذبية بايقاف التمدد. وتنص ايضاً على ان الكون كان دائماً في حالة اهتزازية دورية، أي يتمدد للخارج ثم ينكمش للداخل، "حدث ذلك في الماضي البعيد، وسوف يبقى مهتزاً هكذا في المستقبل".

وتنص هذه النظرية على أنه لا توجد بداية ولا نهاية للكون، وهكذا شاء الخالق لنا أن نعيش حالياً في طور التمدد الكوني كما رصدته التلسكوبات العملاقة. ويعتقد العلماء أنه قد مضى على الكون وهو في هذه الحالة التمددية حوالي 18 بليون عام. أي منذ لحظة الانفجار الكوني الأعظم، وفي المستقبل سيتباطىء التمدد الكوني، ويتوقف نهائياً، وبعدها يبدأ طور الانكماش، وبينما هو في حالة الإنكماش، سترجع المجرات للداخل نحو بعضها البعض، حتى تتجمع كل المادة في الكون بشكل متراص وكثيف ثانية حيث تتسبب فيه درجة الحرارة والضغط العاليان في تكسير المادة إلى دقائق اولية وسيحدث انفجار كوني آخر، وسيتولد عنه كون متمدد جديد من نفس المادة، وهكذا يبقى الكون في حالة اهتزازية مستمرة.

13:4 نظرية الحالة المستقرة (The Steady State Theory)

وهذا هو النموذج الكوزمولوجي الثالث، ويدعى بنظرية الحالة المستقرة، وكان أول من اقترحها كل من: هـ. بوندي، ت. جولد، ف. هويل في عام 1948 م من جامعة كمبردج في بريطانيا. وطبقاً لهذه النظرية فان الكون لم يتطور من وضع محدد او يتغير مع الزمن، وليس للكون لحظة بداية في الماضي، ولن يكون له نهاية في المستقبل، وأن هذا الكون له نفس الصورة في الماضي والحاضر والمستقبل، وتنص أيضاً على أن المجرات تتباعد والكون يتمدد،

وتتخلق مادة جديدة، ومجرات جديدة، بحيث تبقى كثافة الكون المادية ثابتة. وتفترض هذه النظرية حسب مبدأ الكوزمولوجيا المثالي Perfect Cosmological Principle بأن الكون متشابه في مظهره، وخواصه العامة في اي مكان منه ضمن مقاييس كونية كبيرة وفي جميع الأوقات، كما أن هذا الكون حافظ على متوسط كثافة مادية كونية ثابتة للأبد. وحتى يستطيع هذا النموذج تفسير تمدد الكون الحالي فانه يقترح بأن المادة الهيدروجينية تتخلق باستمرار في الفضاء الخالي وبمعدل كافي لتحل محل المادة التي سحبتها المجرات المتباعدة معها.

ولا يتفق العديد من الفلكيين مع نظرية الحالة المستقرة، لأنها تنص على ضرورة تخليق ذرات الهيدروجين باستمرار بدون أن توضح مصدر هذا الهيدروجين الجديد. إن مثل هذا التخليق للمادة يناقض قانون اساسي في الفيزياء، وهو قانون حفظ الطاقة والذي ينص على ان الطاقة الكلية في نظام معزول تبقى دائماً ثابتة، كما أن الطاقة لا تفنى ولا تتجدد، على الرغم من تحولات المادة الى طاقة او العكس التي يمكن ان تتم داخل النظام المعزول.

وهناك بعض الفلكيين يفضلون هذه النظرية المستقرة للكون، بسبب جاذبيتها الفلسفية، فهي تعرّف كوناً دائم الوجود في الماضي وسيبقى في المستقبل كما هو.

13:5 اختبار صحة النماذج الكوزمولوجية

يقوم الفلكيون بالتأكد من صحة هذه النماذج الكونية حسب درجة اتفاقها مع الخواص المرصودة والمعروفة للكون.

إن نموذج الحالة المستقرة ينص بوضوح على ان الكون لم يتغير ابداً، بينما النماذج الاخرى (الانفجار الكوني، الحالة الاهتزازية) والتي تدعى بنظريات التضخم Evolutionary Models تنص على ان الكون قد تغير بكل تأكيد. وافضل الطرق للتأكد من تطور الكون هو مقارنة مظهر الكون الحالي مع ما كان عليه منذ بلايين السنوات الماضية، ولما كان من الصعب علينا عمل قياسات رصدية عبر بلايين السنوات مع تقدم عمر الكون، فانه بدلاً من ذلك يقوم الفلكيون برصد المجرات الواقعة على أبعاد مختلفة عنا، وعلى الرغم من بساطة الفكرة وهي النظر في الزمن إلى الوراء بدراسة الصور الفوتوغرافية للمجرات البعيدة جداً عنا، الا أنها صعبة التطبيق، كما ان تكنولوجيا اليوم ما زالت غير متطورة بشكل كافي لتسمح لنا بالحصول على صور فوتوغرافية تحتوي كل التفاصيل المطلوبة للاجرام السماوية البعيدة جداً عنا، ونتيجة لذلك فان كل نتائج الأرصاد الفلكية المتوفرة حالياً مليئة بالأخطاء، ولذلك فهي غير دقيقة تماماً، ولا توجد نتائج متوفرة بالدقة المطلوبة لتؤيد أياً من هذه النماذج

الثلاث، والسؤال هو كيف يتمكن الفلكيون من معرفة شكل الكون قبل 2 مليون عام او 3 بليون عام مضت؟

والجواب على ذلك يتم بدراسة وتدقيق الصور الفوتوغرافية للمجرات البعيدة المجاورة لنا، كمجرة اندروميدا والتي تبعد عنا حوالي 2 مليون سنة ضوئية او استخدام صورة مجرة الهيدرا (Hydra)، والتي تبعد عنا حوالي 3 بليون سنة ضوئية. إن الضوء الذي يصلنا على الفيلم الحساس للصورة ترك مجرة اندروميدا قبل 2 مليون عام او مجرة هيدرا قبل 3 بليون عام مضت. ويدلنا الآن على صورة الكون عند ذلك الوقت.

ويستخدم الفلكيون هذه الطريقة لمقارنة قيمة ثابت هبل الآن وقبل بلايين السنوات الماضية. وتنص نظرية الحالة المستقرة على ان الكون كان دائم التمدد وبنفس سرعة التمدد الحالية. بينما تنص نظرية الانفجار الكوني الأعظم على ان الكون يتباطىء حالياً في تمدده بعد مرور هذا الوقت الطويل على الانفجار الاصلي. اما نظرية الحالة الاهتزازية فتنص على ان الكون يتباطىء حالياً بحيث أنه سيأتي وقت في المستقبل يتوقف عن التمدد نهائياً.

واذا كانت المجرات تتباطىء في سرعة ابتعادها عنا، كما تنص عليه النماذج الكونية المتطورة، فإن قيمة ثابت هبل ستكون حالياً اقل مما كانت عليه قبل بلايين السنوات الماضية.

وكما يبدو فان قيمة ثابت هبل يقل وبمعدل سريع في النموذج الاهتزازي بالمقارنة مع نموذج الانفجار الأعظم، ولكن قيمة هذا الثابت لا يتغير مطلقاً في النموذج الكوني المستقر، ولقد امضى العالم ساندج (Allan Sandage) في مرصد جبل بلومر سنوات عديدة وهو يدرس هذه المشكلة، وتدل التقارير الواردة عنه بأن قيمة ثابت هبل تتناقص باستمرار، وهذا يعني ان الكون يتباطىء في تمدده، ولا يستطيع احد ان يقيس المجرات البعيدة وبدقة كافية، ولذلك فإن نتائجه غير صحيحة مئة بالمئة لتكون دليلاً قاطعاً على هذا الموضوع. وهناك اختبار آخر لصحة النماذج الكونية يتعلق بتنبؤ النماذج الكونية المتطورة بأن الكون ما زال مملوءاً باشعاع الخلفية الكوني Cosmic Back-ground Radiation وهي بقايا قليلة من الاشعاعات المتبقية من الانفجار الكوني الأعظم، لأن الكرة النارية الكونية الأولى قد بثت اشعاعات قوية وقصيرة الموجة تناظر درجة حرارة مقدارها 10 مليون درجة مطلقة تقريباً، وفي جميع الاتجاهات في الفضاء في عملية مشابهة لانفجار قنبلة ذرية.

ومع مرور الوقت، فان هذه الاشعة تنتشر في الفضاء الخارجي، وتبرد وتملأ الكون المتمدد بشكل منتظم. وفي وقتنا هذا فهي تصطدم بالأرض كاشعاع راديوي قصير الموجة (ميكروويفية)

وتناظر درجة حرارة مقدارها (2.7 k) ولقد قام العالم الفيزيائي جامو (Gammow) بدراسة نموذج الانفجار الكوني ووجد ان الفوتونات الضخمة المندفعة في الفضاء ستنزاح نحو الأحمر نتيجة سرعة ابتعادها، وتنبأ بامكانية رصدها في الأزمنة الحالية كفوتونات راديوية وتحقق ذلك في عام 1965 م حيث اكتشف العلماء مثل بنزايس وولسن هذا الاشعاع الراديوي المنبعث من مصدر درجة حرارته يقارب (2.7 k) قادماً من كل الاتجاهات في السماء وبنفس الشدة وبناءً على ذلك فقد تم اكتشاف الاشعاع الكوني المتبقي من الانجفار الكوني الاعظم، ولذلك فان هذا الاكتشاف يشكك في صحة نظرية الحالة المستقرة لأنها يجب ان تجد طريقة لتفسير هذا الاشعاع والا فان ذلك النموذج غير صحيح.

اما الاختبار الاخير لصحة هذه النماذج الكونية، فهو يتمثل في تقدير المادة الكلية، ومن ثمّ متوسط الكثافة العامة للكون والكوازارات، والتي قد تزودنا بأدلة علي صحة أحد هذه النماذج المختلفة. وتبلغ كثافة المادة في الكون واللازمة لقوة الجاذبية لايقاف التمدد الكوني تبعاً للنموذج الاهتزازي حوالي $1x10^{-29}$ غم / سم^3، في حين ان كثافة المادة المجرية المشاهدة والمحسوبة خلال الكون حوالي $2x10^{-31}$ غم/ سم^{3}وهذا يعني على قدر ما نعلم حالياً بأن الكون لا يحتوي على مادة مرئية كافية لايقاف التمدد. وما زال بعض الفلكيون يبحثون عما يدعى بالكتلة المفقودة Missing Mass لعشرات السنين. وإذا كانت الكوازارات بعيدة حقاً كما يدل على ذلك مقدار انزياحها نحو الأحمر، فان عددا اكبر منها كان موجوداً في الماضي عما هو موجود منها في الوقت الحاضر، واذا كانت هناك احداث حصلت في مرحلة مبكرة من عمر الكون والتي نادراً ما تحدث في ايامنا الحاضرة، فاننا لا نستطيع تطبيق مبدأ الكوزمولوجيا المثالي ولا نموذج الحالة المستقرة.

13:6 تقدير عمر الكون

إن التقديرات المدونة لعمر الكون تميل الى الزيادة في عمره، وتتراوح تقديرات الكتب المقدسة للاديان السماوية ما بين بضعة الاف من السنوات الى الملايين وحتى بلايين السنوات.

وفي شهر آذار من عام 1977م اعلن العالم ديفيد . ن شرام David. N. Schramm من جامعة شيكاغو في الولايات المتحدة الامريكية، ان عمر الكون الحالي هو (20) بليون عام، واعتمدت نتيجته المذكورة على طريقة التأريخ الاشعاعي لعنصر الرينيوم (Re - 187)، والذي يشتمل على قياس كمية الرينيوم المتحللة بالاشعاع، منذ ان تكون هذا العنصر في مجرة درب التبانة وحتى الان. وهناك تقديرات اخرى لعمر الكون تعتمد على قيمة ثابت هبل، حيث ان زمن هبل الذي يدل على عمر الكون منذ وقت حدوث الانفجار الكوني يساوي $(\frac{1}{H})$.

إن هذا العمر المحسوب يعتمد بشكل كبير على قيمة ثابت هبل، والتي ما زالت غير دقيقة، ومع بعض التصويبات حول تباطؤ الكون في الماضي، فان هذه الطريقة تعين وقت حدوث عملية الانفجار الكوني بين (10) الى (20) بليون عام مضت. وهناك عمر آخر مستخرج من ارصاد اعمار النجوم القديمة جداً، وبواسطة هذه الطريقة يتراوح عمر الكون من (9) الى (18) بليون عام.

13:7 تقدير نصف قطر الكون

يمكن تقدير نصف قطر الكون المرئي واتساعه اعتماداً على قيمة ثابت هبل، وتعرف مسافة هبل بالمسافة الى اقصى حد مرئي للكون، وتحسب رياضياً بالعلاقة:

مسافة هبل = نصف قطر الكون (اتساعه) = سرعة الضوء × زمن هبل

$$r = ct = \frac{C}{H} = \frac{3x10^8 \ m/s}{100 \ km/sec. \ Mega \ parsec}$$

$$r = \frac{3 \ x \ 10^8 \ m/s}{\frac{100x10^3 \ m}{3.26x10^6 \ ly \ sec.}}$$

$$= \frac{3x10^8 \ x \ 10^6 \ x \ 3.26 \ ly}{10^5}$$

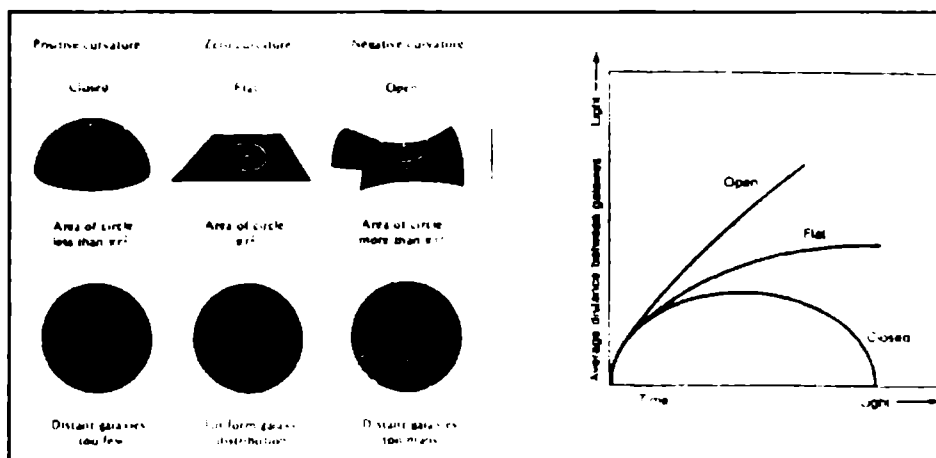
$$r = 9x10^9 \ ly = 9 \ Billion \ years.$$

ونلاحظ ان هذه الحسابات تعتمد على قيمة ثابت هبل، وتتراوح قيمة نصف قطر الكون المرئي ما بين (12) بليون الى (16) بليون سنة ضوئية، لاحظ أن عمر الكون يعطى بالعلاقة $t = 1/H$

وتبقى اسئلة البشرية الخالدة كيف بدأ العالم؟ وهل له نهاية؟ والتي لا يستطيع العلم ان يجيب عليها هذه الايام.

13:8 النظرية النسبية العامة وتحدب الكون

يستعمل العلماء في تحليلهم لشكل الكون، قواعد رياضية متوفرة في نظرية اينشتاين النسبية العامة، وهي تصف تفاعلات المادة والطاقة والجاذبية بمعادلات تدعى (علاقات المجال. واهم نتيجة يستفاد من تطبيقها ان الفضاء الكوني يكون محدباً بمحاذاة الكتلة وهذا يعني ان الشعاع الضوئي الذي يتبع خطاً مستقيماً في الفراغ سوف يتبع مسارا منحنياً

عندما يمر بالقرب من كتلة ما. وهذا يشبه الوضع على سطح الارض الذي يبدو لنا منبسطاً ولكنه في حقيقته محدب في الفراغ. ولقد بلغ انحناء الشعاع الضوئي عند مروره بالقرب من كتلة الشمس الهائلة زاوية مقدارها (1.7) ثانية قوسية. وبما ان الكون يحتوي على المادة التي تنتج تسارع تجاذبي فله انحناء عام كما في الشكل (2-13). فإذا كان هذا الانحناء سالباً Negatively Curved فان الكون عندها يكون مفتوحاً Open Universe حيث يستمر تمدد الكون للأبد (لاحظ ان مجموع الزوايا الثلاثة لمثلث ما تكون أقل من 180) واذا كان الانحناء موجبا (فان الكون عندها يكون مغلقاً Closed universe حيث في النهاية يستبدل التمدد الكوني الحالي بالانكماش الكوني. واذا كان الانحناء يساوي صفرا فان الكون عندها يدعى بالساكن. ان أدلة الرصد الحالية والمتوفرة حول متوسط الكثافة المحتواه من جميع اشكال المادة المرئية على افضل تقدير هي 10% مما يسمى بالكثافة الحرجة المطلوبة لاغلاق الكون بفعل الجاذبية.

الشكل (2-13) يوضح انحناء الكون كما تتوقعه النظرية النسبية العامة

وأما طبيعة المادة المفقودة في الكون فلربما تكون بقع سوداء، فيما بين المجرات او تكون النيوترينوات السابحة في الفضاء على الرغم من كتلتها الصغيرة، ويقدر العلماء ان الكثافة الحرجة واللازمة لإغلاق الكون هي كثافة الكون المنبسط والتي تقدر بحوالي (بروتون/ م^3)، وبشكل عام تتناسب الكثافة الحرجة للكون طردياً مع مربع قيمة ثابت هبل $\rho_c = H^2$

أسئلة الفصل الثالث عشر

1 - اذكر نص المبدأ الكوزمولوجي وناقش مدى صحته من حيث اتفاقه مع ما نشاهده من خصائص الكون.

2 - كيف يتمكن الفلكيون من تحديد كثافة المادة في الكون، وما مدى صعوبة ذلك.

3 - صف المرحلة المبكرة من عمر الكون ابتداء من لحظة الانفجار الكوني الأعظم الى لحظة تكون المجرات.

4 - صف نظرية الحالة المستقرة للكون وبماذا تتنبأ هذه النظرية.

5 - أي من العناصر التالية تكونت في الانفجار الكوني الاعظم (الهيدروجين، الهيليوم، الديوتيريوم، الاكسجين، الكربون، الحديد).

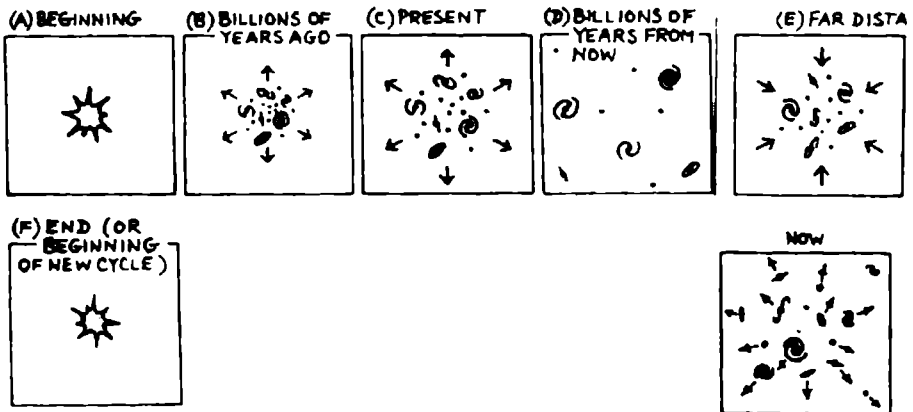
6 - لماذا يعتبر اشعاع الخلفية الكونية دليلاً مهما ضد نظرية الحالة المستقرة.

7 - احسب عمر الكون حالياً وسعته وكثافته الحرجة على اعتبار ان قيمة ثابت هبل=H 50km/sec/megq parsec علماً بأن

$(\rho_c = H^2, r = ct, t = H^{-1})$

8 - كم تُقدر درجة حرارة الكون لحظة الانفجار الكوني الاعظم.

9 - ما هو الطول الموجي لأشعة الخلفية الكونية المناظرة لدرجة حرارة (2.7 k)

10 - هل الكون مغلق ام مفتوح؟ وهل يتمدد ام يتقلص؟ وهل تمدده في تزايد أم تناقص؟

Stages of the universe (oscillating theory)   Stages of the universe (

ضع دائرة حول الجواب الصحيح لكل مما يلي:

1 - ان قياس التزيح النجمي مهم جداً لأنه يسمح لنا بتحديد احد الخصائص النجمية التالية:

أ) القطر ب) الكتلة ج) البعد د) السرعة هـ) كل ما ذكر صحيح

2 - نجمان B,A اقدارهما الظاهرية المرئية كما يلي:

(mv) A = + 6 ، (mv)B = + 3, لذلك فان النجم الأول A:

أ) اكثر سطوعاً من B بثلاث مرات ب) أقل سطوعاً من B بثلاث مرات

ج) أكثر سطوعاً من B ب 6 مرات د) اكثر سطوعاً من B ب 16 مرة

هـ) أقل سطوعاً من B ب 16 مرة

3 - اذا كان المعامل اللوني لكل من نجمي العيوق والطائر هي (+1.24) ، (+0.22) على التوالي. فأي منهما أبرد:

أ) العيوق ب) الطائر ج) (أ + ب) معاً د) لا يمكن التحديد

4 - يكون الضوء النجمي عند وصوله لسطح النجم (الفوتوسفير) على شكل:

أ) طيف خطي ساطع ب) طيف خطي مظلم

ج) طيف مستمر د) طيف خطي مستمر مركب عليه خطوط امتصاصية.

5 - إذا كانت الأطوال الموجبة لخطوط الطيف النجمي لنجم مثل ممسك الاعنة تنزاح نحو الأطوال الموجية الكبيرة فان واحداً مما يلي صحيحاً:

أ) هذا انزياح نحو الأزرق ب) هذا النجم يقترب منا

ج) تدعى سرعته المقاسة بهذه الطريقة بالسرعة الشعاعية

د) حرارة هذه النجم لا يمكن تحديدها.

6) ان السبب في عدم ظهور الخطوط الهيدروجينية في أطياف النجوم من النوع M هو:

أ) عدم وجود الهيدروجين بكميات وافرة ب) لوجودها في داخل سدم غازية

ج) لارتفاع الضغط الجوي فيها د) لا شيء مما ذكر صحيح

7 - ان القدر المطلق المرئي للنجم الذي نورانيته تساوي 10^{-4} من نورانية الشمس هو:

أ) -5.2 ب) 7.3 ج) 14.8 د) لا شيء مما ذكر صحيح

8 - عند قياس القطر الزاوي للنجم باستخدام مطياف التداخل لميكلسون كانت المسافة بين المرآتين 48 سم، فان القطر الزاوي للنجم بالثواني القوسية:

أ) 0.2 ب) 0.5 ج) 4 د) لا شيء مما ذكر

9 - يتحدد موقع النجم على سلسلة التتابع الرئيسي حسب:

أ) درجة حرارته ب) ضغطه الجوي ج) تركيبه الكيماوي د) كتلته

10 - يعتبر النجم G3lla حسب مخطط (M - K):

أ) نجم فوق عملاق أصفر ب) نجم عملاق أصفر

ج) نجم تتابع رئيسي أصفر د) نجم قزم أصفر

11 - يمكن التأكد من النجوم الثنائية القياسية الفلكية بواسطة:

أ) قياس التغييرات في السطوع ب) قياس السرعة القطرية

ج) قياس السرعة المماسية د) قياس الحركة الذاتية.

12 - تتميز النجوم الشلياقية:

أ) بأن صنفها الطيفي مع النوع M ب) بأن اعدادها قليلة في المجره

ج) لها أزمان دورية طويلة د) لا شيء مما ذكر صحيح

13 - اكتشفت النجوم المتغيرة الاضاءة في احد المواقع التالية:

أ) برج القوس ب) السماء الشمالية ج) السماء الجنوبية د) برج الثور

14 - يمكن استخدام القدر المطلق النجمي بدلاً من (   ) لأغراض عديدة:

أ) السطوع النجمي ب) معامل البعد ج) النورانية النجمية

د) الصنف الطيفي هـ) لا شيء مما ذكر صحيح

15 - تدعى النجوم التي درجة حرارتها منخفظة، ونورانيتها عالية بـ:

أ) النجوم القزمة ب) نجوم التتابع الرئيسي

ج - النجوم العملاقة د) النجوم النيوترونية

16 - نجمان سيريس، وسهيل أبعادها عنا هي 10 , 15 فرسخ نجمي علي التوالي، ان زاوية التزيح لنجم سهيل هي:

أ) الأقل ب) الأكبر ج) مساوية لزاوية تزيح الآخر د) لا يمكن التحديد

17 – يعتقد المعامل اللوني على:

أ) نصف قطر النجم   ب) نورانيته   ج) درجة حرارته   د) بعده عنا

18 – إذا ظهرت الخطوط الطيفية القوية للهيليوم المتأين في طيف نجم ما. فان صنفه الطيفي يكون:

أ) M   ب) F   ج) A   د) B   هـ) لا شيء مما ذكر

19 – يمكن تمييز النجوم الثنائية المطيافية بواسطة:

أ) التلسكوب الراديوي   ب) المنظار العادي

ج) العين المجردة   د) التلسكوب البصري

20 – ان النجوم فوق العملاقة الحمراء بالمقارنة مع النجوم العملاقة الحمراء تكون لها:

أ) نفس الكتلة   ب) نفس الحجم   ج) نفس النورانية

د) (أ + ب)   هـ) لا شيء مما ذكر صحيح.

21 – نجمان سيريس وسهيل من نجوم السماء. ولكن سيريس أقرب الينا. إذا رصدنا كل منهما كل ستة اشهر مرة، فأي منهما سيكون له زاوية تزيح اكبر:

أ) سهيل   ب) سيريس   جـ) لا تستطيع التحديد   د) لذي السطوع الأكبر

22 – تعود الاختلافات في الاطياف النجمية الي اختلافات رئيسية في:

أ) نورانيتها   ب) أنصاف أقطارها   جـ) ابعادها عنا

د) درجة حرارتها   هـ) تركيبها الكيماوي

23 – إن المعامل اللوني لنجم ما هو مقياس:

أ) لدرجة حرارته   ب) للنورانية   جـ) لنصف قطره   د) لبعده عنا

24 – تعتمد الحركة الذاتية للنجم على:

أ) السرعة الشعاعية   ب) السرعة الماسية   جـ) بعد النجم عنا

د) (ب + جـ)   هـ) (أ + جـ)

25 – إن النسبة بين سطوع نجم من القدر الثالث الى سطوع نجم من القدر الخامس:

أ) اسطع بمرتين   ب) أضعف ب 2.5 مرة

جـ) اسطع بـ 6.25 مرة   د) أضعف بـ 6.5 مرة

26 - تختلف النجوم المتغيرة عن النجوم العادية في تغير احدى الخصائص التجمعية:

أ) أطيافها ب) اتجاه حركتها جـ) سرعتها الشعاعية د) أقدارها النجمية.

27 - إذا كان النجم (α بوتس) له زاوية تزيح 0.75 ثانية قوسية فإن بعده بالسنوات الضوئية:

أ) 0.75 ب) 1.3 جـ) 4.3 د) 18

28- إذا ظهرت الخطوط الطيفية القوية للهيليوم المتأين في طيف نجم ما، فإن رتبته الطيفية:

أ) M ب) F جـ) B هـ) لا شيء مما ذكر.

29 - رصد جسم ما فكان طيفه يحتوي على خطوط طيفية تعود للهيليوم وخطوط قوية للمعادن، فإن هذا الجسم ربما يكون:

أ) غير موجود ب) نجم تنشفير حرارته مع الزمن

جـ) نجم له خطوط انبعاثية قوية د) نظام نجمي ثنائي

30 - لنجم ما كالشمس إذا قيست أقدارها المختلفة فإننا نستنتج بأن:

أ) $m_{bol} < m_v$ ب) $m_{bol} > m_v$ جـ) $m_{bol} = m_v$ د) لا شيء مما ذكر صحيح

31 - تقع النجوم العملاقة الحمراء في مخطط هرتز رسل للنجوم في الجزء ذو:

أ) النورانية العالية، والحرارة العالية ب) النورانية العالية والحرارة المنخفضة

جـ) النورانية المنخفضة والحرارة المنخفضة د) النورانية المنخفضة والحرارة العالية

32 - لو راقبنا نجماً يدور حول نفسه بسرعة 100 كم / ثانية باتجاه محور دورانه، فإن الانزياح الدوبلري سيعطينا سرعته الدورانية التالية:

أ) 50 كم / ثانية ب) 70 كم/ثانية جـ) صفر كم/ثانية د) 100 كم/ ثانية

33 - إن اهمية النجوم الثنائية تنبع من استخدامها لتحديد احدى الخصائص التالية بشكل رئيسي:

أ) حرارة النجوم ب) نورانيتها جـ) بعدها د) نصف قطرها هـ) كتلتها

34 - إن القدر المطلق النجمي، كمية قياسية لا تعتمد على:

أ) كتلة النجم ب) حرارته جـ) طيفه د) بعده

35 - إن النجوم الفوق عملاقة الحمراء بالمقارنة مع النجوم العملاقة الحمراء تكون لها:

أ) نفس درجة الحرارة ب) أكبر حجماً جـ) نفس الرتبة الطيفيةد) جميع ما ذكر صحيح

36 – ان النجم (ألفا قنطوري) له قدر نجمي (Mv= 6.8 , mB = 12.4) ومعامله اللوني (0.6) فإن قدره المطلق MB هو:

أ) 5.6 ب) -5.6 جـ) 13.0 د) 7.4 هـ) 6.8

37 – في السؤال السابق فإن بعد النجم عنا هو:

أ) 132 بارسك ب) 229 بارسك جـ) 10 بارسك د) لا شيء مما ذكر

38 – إذا كان القدر المطلق للشمس (+5) فما هو قدرها الظاهري اذا نظرنا اليها من بعد فرسخ نجمي واحد

أ) -5 ب) +5 جـ) صفر د) +10

39 – النجوم الثنائية البصرية الحقيقية تمتاز بما يلي:

أ) ترتبط بقوة كبلر ب) يمكن رؤيتها بالعين المجردة جـ) عددها قليل

د) تكون على بعد كاف عن بعضها عندما ينظر اليها بالتلسكوب.

40 – بعض النجوم يكون لها نجم مرافق غير مرئي ويستدل عليها بطرق عدة منها:

أ) التلسكوب البصري ب) قياس السطوع الكلي جـ) قياس اطيافهما

د) قياس الحركة الذاتية

القسم الأول: ضع دائرة حول رمز الاجابة الصحيحة لكل مما يلي:

1 – إذا كان الطيف النجمي لأحد النجوم يدل على وجود خطوط طيفية لايونات الهيليوم فإن التصنيف الطيفي لهذا النجم يكون:

أ) A ب) B جـ) O د) F هـ) M

2– إذا شوهدت الشمس التي قدرها المطلق (+5) ، من مسافة فرسخ نجمي واحد (I pc) فما هو قدرها الظاهري؟

أ) -5 ب) 0 ج)+5 د) +10

3 – أيٌ من التالية ذكرها، تعتبر عديمة الفائدة لتعيين درجة حرارة النجوم؟

أ) الصنف الطيفي ب) المعامل اللوني جـ) القدر المطلق د) درجة التأين.

هـ) طول الموجة المقابلة لأكبر شدة ضوء في المنحنى الذي يربط شدة الضوء مع طول الموجة

4 - تتراوح الكتل النجمية بين:

أ) 1.0 - 10 Mo   ب) كل النجوم لها نفي الكتلة تقريباً   جـ) 0.1 - 10 Mo

د) 0.05 - 50 Mo   هـ) 0.01 - 100 Mo

5 - تعين الكتل النجمية باستعمال:

أ) قانون نيوتن الأول   ب) قانون نيوتن الثاني كما طوره كبلر   جـ) قانون كبلر الثاني

د) قانون كبلر الثالث كما طوره نيوتن   هـ) لا شيء مما ذكر.

6 - النجوم أجسام كروية الشكل بسبب:

أ) درجة الحرارة العالية في الداخل   ب) حجمها الكبير   جـ) تركيبها الهيدروجين

د) الجاذبية   هـ) توليد الطاقة النووية في النجوم.

7 - أي من التالية ذكرها، ليس له تأثير أساسي علي الخواص النجمية؟

أ) الكتلة   ب) الاضاءة الذاتية   جـ) التركيب الكيماوي   د) العمر

8 - إن نجوم التتابع الرئيسي:

أ) لها نفس الكتلة   ب) لها مواقع علي خط التتابع الرئيسي تبعاً لكتلها.

جـ) توضع النجوم على خط التتابع الرئيسي عشوائياً بالنسبة لكتلها.

د) توضع النجوم على خط التتابع الرئيسي بحيث يكون النجم الأقل كتلة عند درجة الحرارة العالية.

9) إن تطور النجوم (في الأنظمة الثنائية) ربما يختلف عن تطور نجمة منعزلة وذلك

أ) لأن كتلة نجمين اكثر من كتلة نجم بمفرده

ب) لأنه من الممكن أن احد النجمين ينقل جزءاً من الكتلة الي النجم الثاني

جـ) إن درجة حرارة النجمين معاً اعلى من درجة حرارة نجم بمفرده

د) إن الاضاءة الذاتية لنجمين اعلى من الاضاءة الذاتية لنجم بمفرده.

10 - إن الانظمة النجمية الثنائية مهمة بالتحديد (بشكل خاص) لتعيين:

أ) درجة الحرارة النجمية   ب) الاضاءة الذاتية النجمية   جـ) البعد النجمي

د) نصف القطر النجمي   هـ) الكتلة النجمية

11 - بالإضافة الى معلومات أخرى، ماذا يجب أن نعلم لتعين كتلة نجم ما؟

أ) نصف القطر ب) درجة الحرارة جـ) البعد

د) الاضاءة الذاتية هـ) المجال المغناطيسي

القسم الثاني: ضع إشارة T امام الجملة الصحيحة على اليمين، واشارة F امام الجملة الخاطئة على اليمين.

12 - النجم ذو المعامل اللوني (1-) اكثر احمراراً (وبرودةً) من نجم آخر معامله اللوني (1+).

13 - القدر البلومتري النجمي أقل من القدر البصري النجمي

14 - إن انتقال الطاقة بالحمل يتم وذلك لأن الغازات الساخنة تهبط لأسفل وترتفع الغازات الباردة.

15 - إن النجوم الواقعة في المنطقة العليا من خط التتابع الرئيسي تعمّر طويلاً بالمقارنة مع النجوم الواقعة في المنطقة السفلى للتتابع الرئيسي.

16 - النجوم التي تحوي منطقتي الكرموسفير والاكليل تميل الى احتوائها على مناطق اغلفة حملية.

17 - النجوم الثقيلة تعطي ضوءاً اكثر من النجوم الصغيرة الكتلة.

18 - إن عدم وجود خطوط الهيدروجين في الأطياف النجمية K,M تدل على أن الهيدروجين غير موجود في الغلاف الجوي الخارجي لهذه النجوم.

19 - إن كمية الطاقة المتولدة من التفاعلات النووية لنجم ما لا يعتمد على سرعة الضوء.

20 - إن التزيح النجمي يقاس للنجوم البعيدة جداً عنا.

21 - تكون المادة في قلب النجم على شكل مادة صلبة ومتأينة.

22 - تتراوح درجة حرارة سطح النجوم ما بين: $20,000K^{0}$ - 3,000.

23 - إن السبب في استعمال القدر المطلق النجمي هو لتصعيب الحياة في وجه طلاب الفلك المبتدئين.

24 - يمكن استعمال الاضاءة الذاتية محل القدر النجمي المطلق في كثير من الاغراض على الرغم من عدم تساويهما عددياً او بالوحدات القياسية.

25 - تعتبر الشمس من النوع M_2.

القسم الأول:

ضع دائرة مقابل الاجابة الصحيحة لكل من الأسئلة التالية:

1 - إذا كانت زاوية اختلاف المنظر 0.75 ثانية قوسية لنجم ما، فإن متوسط بعده بالسنين الضوئية هي:

أ) 0.75   ب) 1.3   جـ) 4.3   د) 18

2 - إذا كانت الصورة الطيفية لنجم ما تدل على وجود خطوط قوية ناتجة عن هيليوم متأين، فإن التصنيف الطيفي لهذا النجم سيكون

أ) O   ب) B   جـ) A   د) F   هـ) M

3- نجم معامله اللوني (1-) فهو إذن:

أ) اكثر احمراراً من نجم آخر معامله اللوني (1+)

ب) اكثر زرقة من نجم آخر معامله اللوني (1+)

جـ) أبرد من نجم آخر معامله اللوني (1+)

د) لا شيء مما ذكر صحيح.

4 - إن اختلاف التركيب الكيماوي من نجم لآخر يفسر:

أ) اختلاف الأطياف النجمية عن بعضها من نجم لآخر

ب) اختلاف موقعها من الشمس

جـ) اختلاف لمعانها الذاتي

د) اختلاف درجة حرارتها

هـ) كل ما ذكر صحيح.

5 - إذا كان القدر النجمي المطلق للشمس تقريباً (5+)، فإن القدر النجمي الظاهري للشمس عندما تشاهد من بعد فرسخ نجمي واحد يكون:

أ) 5-   ب) 0   جـ) 5+   د) 10+   هـ) لا شيء مما ذكر

6) إن الطلب المركزي للنجم يكون

أ) صلبا   ب) مصهوراً   جـ) غاز   د) سائل

7 - إن المجموعات النجمية الشابة يتوقع ان ترتبط بواحد من الآتي ذكرها:

أ) الاقزام الحمراء ب) الاقزام البيضاء جـ) العناقيد الكروية

د) السدم الباعثة هـ) لا شيء مما ذكر.

8 - ان التشابه الوحيد بين نجم كتلته 30Mo ونجم أخر كتلته 5Mo هو

أ) كلاهما يتطور بنفس السرعة

ب) لها نفس التصنيف الطيفي جـ) لهما نفس سرعة الرياح النجمية

د) تكون نهايتهما واحدة بقعة سوداء هـ) يحرقان الهيدروجين بطريقة CNO

9 - اي الحشود التالية توصف بأنها تحوي عمليات تكوين نجوم حديثة:

أ) الكروية Globulur ب) التجمعات Associations جـ) المفتوحة Open

د) كل من (أ + ب) هـ) لا شيء مما ذكر

10 - أي من النجوم التالية سيصرف معظم وقته على خط التتابع الرئيسي

أ) 3Mo Star ب) 10 Mo Star جـ) الشمس

د) 0.5 Mo Star هـ) لا شيء مما ذكر صحيح.

11 - حتى نكشف عن البلسارات (Pulsars)

أ) يجب توجيه حزمة من الدقائق المادية عبر مدار الارض بشكل عامودي

ب) يجب ان تكون جزءاً من نظام ثنائي

جـ) يجب ان ترينا الصورة الطيفية خطوطاً جديدة ناتجة عن ظاهرة زايمان

د) كل ما ذكر صحيح.

12 - إن حركة الشمس في المجرة هي باتجاه مركز المجرة:

أ) هذا صحيح ب) هذا خطأ لأن الشمس تتحرك مبتعدة عن مركز المجرة

جـ) هذا خطأ، لأن الشمس تتحرك في مدار قطع ناقص.

د) هذا خطأ، لأن الشمس تتحرك في مدار دائري.

13 - قام الفلكيون الراديويين بمسح ودراسة توزيع الهيدروجين في مستوى المجرة وذلك :

أ) بقياس ابعاد هذه الغيوم الهيدروجينية باستخدام طريقة اختلاف المنظر.

ب) وذلك بربط السرعات القطرية الى ابعادها

جـ) بقياس زاوية اختلاف المنظر للنجوم الواقعة خلف هذه الغيوم الهيدروجنية.

د) جمع ما ذكر صحيح.

14 - إن كون الضوء القادم من النجوم مستقطباً ينتج منه:

أ) كمية الغبار dust الواقعة بيننا وبين النجم ب) التركيب الكيماوي لوسط ما بين النجوم

جـ) شدة المجال المغناطيسي للمجرة د) متوسط حجم الدقيقة الغبارية

15 - إن تأثير الغبار والأتربة الكونية على الأقدر والألوان النجمية:

أ) تعمل على خفوت لمعان النجوم ب) تجعل النجم يبدو أكثر احمراراً.

جـ) يجعل النجم يبدو اكثر خفوتاً واحمراراً د) ليس هناك اي تغير يذكر.

القسم الثاني: ضع الحرف T إذا كانت الجملة صحيحة، والحرف F اذا كانت خاطئة.

1 - النجوم الحديثة التولد تعتبر من نجوم الجمهرة النجمية الثانية.

2 - إن مدارات النجوم التي تتبع الجمهرة الثانية اكثرها دائرية والقليل منها قطع ناقص.

3 - ان النجوم الواقعة في منطقة الأكليل المجري تحوي على نسبة من المعادن تعادل النسبة الموجودة في الشمس.

4 - إن معظم الاشعة الكونية مصدرها النجوم البعيدة

5 - السدم الباعثة تظهر حمراء في الصور الفوتوغرافية.

6 - إن كثافة النجوم في مستوى المجرة هي نفسها بين الأذرع الحلزونية

7 - إن كتلة المجرة (درب التبانة) حوالي $10^9 M_\odot$

8 - إن عدد نجوم مجرة درب التبانة حوالي 10^{10} نجم.

9 - عند مركز البقعة السوداء، تصبح الكثافة والضغط صفراً.

10 - إن نصف قطر جاندراسكار لنجم ما هو نصف قطر النجم عندما يكون النجم على خط التتابع الرئيسي.

مراجع الكتاب

أولاً : المراجع باللغة العربية

1 – أبو العينين، حسن سيد، كوكب الأرض وظواهره التضاريسية الكبرى، الطبعة الخامسة. 1979.

2 – الأمير، علي، الكون العميق، الطبعة الأول، 1986.

3 – الدفاع، علي عبد الله، أثر علماء العرب والمسلمين في تطوير علم الفلك، مؤسسة الرسالة، بيروت 1980.

4 – سير جيمس جنتز، النجوم في مسالكها، ترجمة أحمد عبد السلام الكرواتي، الطبعة الثالثة، مطبعة لجنة التأليف والترجمة والنشر. 1962.

5 – النعيمي، حميد مجول، وفياض عبد اللطيف النجم. فيزياء الجو والفضاء، الجزء الأول، منشورات وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، الجمهورية العراقية.

6 – حسن، محمد يوسف، و عمر حسين شريف، و عدنان باقر النقاش، اساسيات علم الجيولوجيا.

7 – طربوش أمين، الجغرافيا الفلكية والطرائق العلمية في مراقبة الأجرام السماوية.

8 – عشري، عبد المنعم السيد، الكواكب والنجوم والمجرات، الهيئة المصرية العامة للكتاب 1983م.

9 – عمران، طالب، العالم من حولنا، منشورات وزارة الثقافة والارشاد القومي، دمشق 1976.

10 – جون براندت، وستيفن ماران، آفاق جديدة في علم الفلك. ترجمة أحمد حسين سلامة، ود. محمود اسحاق ونس، منشورات مكتبة الوعي العربي.

12 – موسى، علي، ومخلص الريس، علم الفلك.. مفاهيمه واسسه الكتاب الأول، دار دمشق للطباعة والنشر والتوزيع والنسخ.

13 – نيكلسون، لين، علم الفلك. ترجمة د. علي مصطفى بن الأشهر، مكتبة الثقافة العلمية الميسرة، 1983، معهد الإنماء العربي.

ثانياً : المراجع باللغة الانجليزية

1 - Degani, Meir H. Astronomy Made Simple. Doubleday & Company, INC. 1976.

2 - Ebbighausen, E. G. Astronomy. 3nd edition. Charles E. Merrill Publishing Company, 1976.

3 - Morrison, David & Owen Tobias. The Planetary System. Addision Wesely Publishing Company 1988.

4 - Pasaehoff, Jay. M. Abrief View of Astronomy. CBS College Publshing, 1986.

5 - Snow, Theodore P. Essentials of the Dynamic Universe. 2nd edition. West Publishing Company 1987.

6 - Zelik, Michael & P. Smith, Elske, V. Introductory Astronomy and Astrophysics 2nd edition. CBS eollege Publishing 1987.

7 - Snow. Theodore P. Essentials of the Dynamic Universe, 2nd Edition, West Publishing Company 1987.

8 - Moche, Dinah L., Astronomy. John Wiley & Astrophysics. 2nd edition, CBS College Publishing 1978.

9 - Abell, George O., Morrison David & Wolff Sidney C. Exploration of the Universe, Fifth edition. CBS College Publishing 1987.

10 - Seeds, Michael A. Horizons, Exploring the Universe. 1987 edition, Wadsworth Publishing Company.

11 - Dixon, Robert T. Dynamic Astronomy. 4th edition 1984 Prentice - Hall, INC.

12 - Kaufmann, William J. Universe. 1985 edition, W.H. Fremman and Company.

13 - Roy, A. E& Clarke, D. Astronomy, Principles and Practice. 3nd edition, 1988, Adam Hilger Imprint by Iop Publishing Ltd.